

Arto Hokkanen

Teräsrakenteiden välisten pulttiliitosten mitoitushjelma EN 1993-1-8 mukaan

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

6.5.2014

Tekijä(t)	Arto Hokkanen
Otsikko	Teräsrakenteiden välisten pulttiliitosten mitoitusohjelma EN 1993-1-8 mukaan.
Sivumäärä	49 sivua
Aika	6.5.2014
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennetekniikka
Ohjaaja(t)	Projektipäällikkö Ville Hakala Lehtori Aarne Seppänen
<p>Opinnäytetyö tehtiin Optiplan Oy:lle. Opinnäytetyön tarkoituksena oli laatia mitoitusohjelmat viidestä erilaisesta teräsrakenteiden välisestä pulttiliitoksesta EN 1993-1-8 sekä Suomen kansallisen liitteen mukaan. Mitoitusohjelmat tehtiin käyttäen Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa.</p> <p>Mitoitusohjelmat tehtiin seuraavista liitoksista: pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos; pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos; pilarin liitos perustukseen puristavalle kuormalle; palkki-palkkiliitos, kiinnitys uumaan hitsattuun jäykistelevyyn; pilari-palkkiliitos, jossa palkki kiinnitetty pilarin päältä.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuslähteiden sekä Optiplanissa työskentelevien rakennesuunnittelijoiden ohjeiden avulla.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin viisi erilaista mitoitusohjelmaa, joiden avulla voidaan mitoittaa tietyt teräsprofiilien väliset ruuviliitokset, jotka voidaan tulostaa suoraan valmiina laskentaraporttina.</p>	
Avainsanat	Teräs, ruuviliitos, mitoitusohjelma

Author(s)	Arto Hokkanen
Title	Calculation program for certain bolted steel connections according to EN 1993-1-8.
Number of Pages	49 pages
Date	6 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Structural Engineering
Instructor(s)	Ville Hakala, Project manager Aarne Seppänen, Principal Lecturer
<p>The thesis was written for Optiplan Ltd. The purpose of this thesis was to make design of five different programs for bolted steel connections according to SFS EN-1993-1-8 standard and its Finnish national annex. The programs were made using Microsoft Excel spreadsheet program.</p> <p>The programs were made for following connections: Beam-column, fin plate connection; beam-column, end plate connection; column connection to the foundation, compressive load; beam-beam, fin plate connection; beam-column, beam connected to columns end-plate with bolts.</p> <p>The thesis was carried out with literature sources and instructions of structural engineers working at Optiplan.</p> <p>Thesis resulted in five different programs that can be used for calculating certain bolted connections between steel sections and which can be printed directly to a ready calculation report.</p>	
Keywords	steel, bolted connection, calculation program

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimusongelma, sisältö ja tavoite	3
2.1	<i>Tutkimusongelma ja sisältö</i>	3
2.2	<i>Tavoite</i>	3
2.3	<i>Rajaukset</i>	4
2.4	<i>Tutkimustavat ja menetelmät</i>	4
3	Teräsrakenteiden liitokset	4
4	Mitoitusohjelman laskentaperusteet	5
4.1	<i>Lähtötiedot mitoitusohjelman laatimista varten</i>	6
4.1.1	Profiilien ja materiaalien valinta	6
4.1.2	Ruuvit	7
4.1.3	Liitoksen mitat ja etäisyydet	9
4.2	<i>Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos</i>	11
4.2.1	Voimien jakautuminen ruuviryhmässä	11
4.2.2	Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo	13
4.2.3	Reunapuristuskestävyys	13
4.2.4	Palamurtuminen	14
4.2.5	Kiinnityslevyn pienahitsit yksinkertaistetulla menetelmällä	16
4.2.6	Poikkileikkauksen kestävyys.	16
4.2.7	Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus	17
4.3	<i>Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos</i>	18
4.3.1	Liitosta rasittavat kuormitukset	18
4.3.2	Vedetty ekvivalentti T-osa	19
4.3.3	Ruuvien vetokestävyys ja lävistymiskestävyys	23
4.3.4	Päätylevyn mitoitus	23
4.3.5	Pilarikonsolin mitoitus	26
4.3.6	Pilarin uuman poikittainen veto	27
4.3.7	Pilarin laipan taivutus	28
4.3.8	Pilarin uuman poikittainen puristus	32
4.3.9	Pilarin uuman mitoitus leikkaukselle	32

4.3.10	Palkin uuman veto	34
4.4	<i>Pilarin liitos perustukseen, puristava kuormitus</i>	34
4.4.1	Puristettu ekvivalentti T-osa	34
4.4.2	I-muotoisen pilarin pohjalevyn kestävyys puristetulle kuormitukselle	36
4.5	<i>Palkki-palkkiliitos, kiinnitys uumaan hitsattuun jäykistelevyyn</i>	37
4.5.1	Voimien jakautuminen ruuviryhmässä	37
4.5.2	Ruuvien leikkaus- ja reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo	38
4.5.3	Jäykistelevyn pienahitsit	38
4.5.4	Kiinnityslevy: Yhdistetty leikkausvoima ja taivutusmomentti	38
4.5.5	Palamurtuminen	38
4.5.6	Paikallinen lommahdus	38
4.6	<i>Pilari-palkkiliitos, palkki kannatetaan pilarin päältä</i>	39
5	Yleistä mitoitusohjelmasta	41
5.1	<i>Mitoitusohjelma</i>	41
5.2	<i>Mitoitusohjelman ulkoasu ja käyttö</i>	41
6	Yhteenveto	45
	Lähteet	49

Käsitteet

Eurokoodi	Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja. Eurokoodeista käytetään lyhennettä EN, jonka jälkeinen numerosarja kertoo osan, jota eurokoodi käsittelee. Esim. EN 1993-1-8 tarkoittaa eurokoodi 3:a eli teräsrakenteiden suunnittelua ja sen osaa 1-8, liitosten suunnittelua.
Kansallinen liite	Antaa kansalliset parametrit eurokoodin kohtiin, joita on mahdollista muuttaa. Mahdollisuus kansallisten parametrien käyttöön on annettu eurokoodissa. Kansalliset liitteet ovat maakohtaisia. Lyhennetään myös merkintänä NA.
Mitoitusohjelma	Tietokonesovellus, joka laskee rakenteiden kestävyys, kun tarvittavat lähtötiedot on syötetty.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on teräsrakenteiden välisten pulttiliitosten mitoitusohjelma SFS-EN 1993-1-8 ja sen kansallisen liitteen mukaan. Opinnäytetyönä tehdään yrityksen käyttöön mitoitusohjelmat, joiden avulla voidaan laskea I-teräsprofiilien pulttiliitoksia. Opinnäytetyö tehtiin Optiplan Oy:lle syksyn 2013 ja kevään 2014 aikana.

Optiplan on rakennussuunnittelun kokonaissuunnittelutoimisto, jonka toimialoja ovat asuminen, toimitilat ja korjausrakentamispalvelu. Suunnittelualoja ovat arkkitehtuuri-, rakenne-, LVI-, rakennusautomaatio- ja sähkösuunnittelu sekä energia- ja ympäristöpalvelut. Optiplanilla on Helsingin pääkonttorin lisäksi aluetoimistot Tampereella ja Turussa. Optiplanin omistaa kokonaisuudessaan NCC Rakennus Oy.

Mitoitusohjelmien käyttö rakennesuunnittelussa on Optiplanissa osa jokapäiväistä työtä. Mitoitusohjelmien käyttö nopeuttaa työntekoa, sillä rakenteiden mitoittamiseen ei varata niin paljoa aikaa ohjelmien käytön yleistymisestä ja helppoudesta johtuen. Rakennesuunnittelijan on kuitenkin mitoitusohjelmia käyttäessä tiedettävä, miten ohjelma toimii ja osattava arvioida tulosten oikeellisuutta.

Suuressa osassa mitoitusohjelmia on puutteellisia tietoja laskentaperusteista, joita on käytetty ohjelman laatimiseen. Osassa ohjelmista laskentaperusteita ei ole ollenkaan esitetty, vaan ne on ohjelmoitu siten, että käyttäjät eivät voi niitä tarkastella. Tällöin laskentaohjelmasta saadaan ainoastaan lopputulokset ja niiden oikeellisuutta on vaikea arvioida tai ne on erikseen tarkistettava käsin laskien tai toisella ohjelmalla. Lisäksi raportin tulostaminen kyseisestä ohjelmasta on mahdotonta, koska ohjelmaa ei ole tehty raportin tulostamista varten vaan ainoastaan liitosten mitoitusta varten. Monissa ohjelmista on myös se ongelma, että ne antavat paljon tietoa asioista, jotka ei liity tarkasteltavana olevaan liitokseen. Kyseiset ohjelmat antavat tiedon kaikkien profiilien liitoksista ja kestävyyksistä ja ovat tästä syystä huonoja liitettäväksi raportteihin.

Osa laskentaohjelmista on kehitetty siten, että niillä voidaan mitoittaa sekä rakenteet että rakenteiden väliset liitokset. Tällöin ohjelma tunnistaa vain tietyt liitostyytit ja rakenteet täytyy mallintaa ohjelmaan tietyllä tavalla, jotta ohjelma ymmärtää liitoksen. Esimerkiksi jos ohjelmassa asettaa vaakasuuntaisen tuen pilarin yläpäähän, ymmärtää ohjelma liitoksen perustusliitoksena ja ehdottaa liitosta mitoittettavaksi virheellisesti pe-

rustuksen perusruuviilitoksena. Liitostyyppiä ei ole mahdollista muuttaa itse ja on palatava liitoksen mitoituksessa alkupisteeseen. Näistä ohjelmista laskentaraportin ulossaaminen voi olla erittäin haasteellista. Lisäksi raportteihin tulostuvat tiedot ovat joko erittäin vaikeaselkoisia ja yksityiskohtaisia tai laskennan välitulokset ovat pelkkiä lukuarvoja, jolloin on kokonaisuuden hahmotus vaikeaa.

Osassa laskentaohjelmia voidaan mitoittaa ainoastaan teräsosia, josta saadaan lähtötiedot liitosten mitoituksista varten mutta ei itse liitoksia. Liitoksen laskenta tehdään tällöin toisella ohjelmalla ja tulokset viedään samaan laskentaraporttiin kootusti. Tällöin on tärkeää, että liitoksista on mahdollista tulostaa raportti, joka kertoo liitoksen mitoituksista oleelliset tiedot raportin lukijalle.

Opinnäytetyönä toteutettava mitoitusohjelma toteutetaan siten, että se palvelee rakennesuunnittelijan jokapäiväistä työtä rakenteiden mitoituksen osalta. Toisaalta ohjelman laatimisessa otetaan huomioon raportin helppolukuisuus ja mitoitusohjelman laskenta-perusteiden helppo löytyminen laskennan oikeellisuuden tarkistamista varten. Mitoitusohjelmasta saadaan tulostettua selkeä laskentaraportti asiakkaalle ja rakennusvalvonnalle esitettäväksi.

2 Tutkimusongelma, sisältö ja tavoite

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyön tutkimusongelmaa, sisältöä, opinnäytetyön tavoitetta ja rajausta.

2.1 Tutkimusongelma ja sisältö

Opinnäytetyönä tehdään mitoitusohjelmat seuraaville teräsrakenteiden välisille pulttiliitoksille:

- Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos
- Pilarin liitos perustukseen, puristava kuorma
- Palkki-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, jossa palkki kannatellaan pilarin päältä.

Opinnäytetyössä esitetään liitoksen laskentaperusteet eriteltynä jokaisessa liitostyyppisessä. Jokaisesta liitoksesta esitetään voimasuureiden laskentaperusteet ja liitoksen mitoitusperusteet SFS-EN 1993-1-8 ja sen kansallisen liitteen mukaan. Lisäksi käytetään muita teräsrakenteisiin liittyviä eurokoodeja ja alan kirjallisuutta.

Opinnäytetyössä esitetään lisäksi yleisiä asioita mitoitusohjelmasta. Näitä ovat esimerkiksi mitoitusohjelman ulkoasu, mitoitusohjelmassa käytettävät ohjelman välilehdet, laskentajärjestys ja tulosten esitystapa ja jäsentely loppuraportissa. Lisäksi käydään läpi perusasioita laskentaohjelman käytöstä ja laskenta-arvojen syöttämisestä ohjelmaan.

2.2 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on tuottaa yrityksen käyttöön mitoitusohjelmat I:n mallisten teräsprofiilien pulttiliitoksille. Mitoitusohjelmasta voidaan tulostaa selkeä laskentaraaportti mitoituksen raporttia varten. Mitoitusohjelmat tehdään kolmesta pilari-palkkiliitoksesta, yhdestä palkki-palkkiliitoksesta, sekä pilarin liitoksesta perustukseen.

2.3 Rajaukset

Valmiilla mitoitusohjelmalla tulee pystyä mitoittamaan tiettyjen leikkaus- ja vetorasitettujen pulttiliitosten kestävyys. Liitostyypit on eritelty kohdassa 2.1. Mitoitusohjelmassa käsitellään hitsien mitoitusta ainoastaan siinä laajuudessa kuin kyseisten liitoksen mitoituksessa tarvitaan. Lisäksi mitoitusohjelmassa tarkastellaan teräsprofiilien kestävyyttä ainoastaan liitoksen osalta, eikä ole tarkoitus muuten tehdä laskentaa teräsprofiilin kestävyyksistä.

2.4 Tutkimustavat ja menetelmät

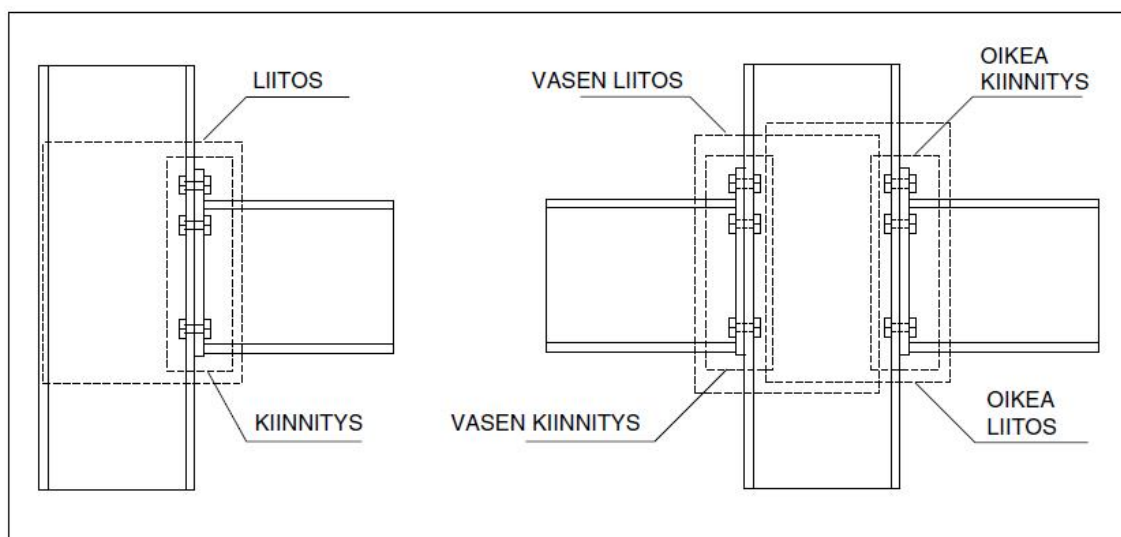
Mitoitusohjelma tehdään Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla. Ensin selvitetään liitoksen laskentaperusteet ja voimien jakautuminen liitoksessa. Kun voimat ovat laskettu taulukkolaskentaohjelmalla, tehdään ohjelmalla vaiheittain liitoksen mitoitus. Mitoituksen jälkeen kerätään liitoksen osien käyttöasteet kootusti laskennan loppuun yhteenvedoksi.

Opinnäytetyön lähdeaineistona toimii pääasiallisesti eurokoodin osa 1993 eli teräsrakenteiden suunnittelu ja Suomen kansallinen liite. Suunnittelun perustana toimii eurokoodin osa EN 1993-1-8, joka käsittelee teräsrakenteiden liitoksia, mutta myös muita eurokoodin osia, liittyen teräsrakenteisiin ja betonirakenteisiin, käytetään asiayhteydestä riippuen. Eurokoodin lisäksi mitoitusohjelman suunnitteluperusteina käytetään myös muuta alan kirjallisuutta ja internet-aineistoa.

3 Teräsrakenteiden liitokset

Teräsrunko koostuu terässauvoista ja liitoksista niiden välillä. Liitoksella tarkoitetaan peruskomponenttien kuten ruuvien, hitsien, päätylevyn, pilarin uuman ja pilarin laipan yhdistelmää. Liitoksen tehtävä on välittää voimia liitoksen välillä osalta toiselle.

Kiinnityksellä tarkoitetaan aluetta, jossa kaksi sauvaa liitetään toisiinsa kiinnikkeiden avulla. Kuvassa 1 on esitetty liitoksen ja kiinnityksen välinen ero. [4.], [1.]



Kuva 1. Kiinnityksen ja liitoksen välinen ero. [4.]

Liitostyyppejä ovat hitsausliitokset ja ruuviliitokset. Työmaaolosuhteissa on suositeltavaa käyttää ruuviliitoksia, sillä hitsaustyön laatu ja laadunvalvonta eivät ole niin tarkkoja työmaalla kuin konepajalla valmistetuissa hitsausliitoksissa. Lisäksi hitsausliitoksen pintakäsittely- ja korroosiosuojaus on vaikeampaa työmaaolosuhteissa ja se aiheuttaa lisäkustannuksia. [4.]

Liitokset luokitellaan joko jäykkyyden tai lujuuden perusteella. Jäykkyyden perusteella liitokset voidaan jakaa nimellisesti nivelellisiin liitoksiin, jäykkiin liitoksiin tai osittain jäykkiin liitoksiin. Lujuuden perusteella liitokset voidaan jakaa nimellisesti nivelellisiin liitoksiin, täysin lujiin liitoksiin ja osittain lujiin liitoksiin. Jäykät liitokset voidaan toteuttaa joko hitsausliitoksina tai ruuviliitoksina, kun taas nivelelliset liitokset ovat ruuviliitoksia. Suunniteltaessa liitoksia on otettava huomioon liitoksen joustavuus ja kiertymiskyky, jotta liitos toimii suunnitellusti. [4.]

4 Mitoitusohjelman laskentaperusteet

Tässä luvussa selvitetään liitoksen laskennassa käytetyt laskentaperusteet ja liitoksen mitoituksessa käytettävien materiaalien valintaperusteet. Luvut on jaettu liitosten perusteella omiin osiinsa. Poikkeuksena luku 4.1, joka käsittelee liitosten suunnitteluun vaikuttavia lähtötietoja ja ovat yleisiä kaikkien liitostyyppien kannalta.

4.1 Lähtötiedot mitoitusohjelman laatimista varten

4.1.1 Profiilien ja materiaalien valinta

Rakenneteräkset voidaan jakaa kuumavalssattuihin ja kylmämuovattuihin rakenneteräksiin. Kuumavalssattuja terästuotteita ovat esimerkiksi kuumavalssatut profiilit ja tangot, levyt ja nauhat, rainat jne. Kylmämuovattuja ovat esimerkiksi muotolevyt, sauvat ja kasetit. [1.]

Liitokset mitoitetaan käyttäen kuumavalssattuja rakenneteräksiä ja niiden lujuusominaisuuksia. Mitoitusohjelmassa valitaan teräsprofiilit valintaikkunan avulla, jolloin ohjelma antaa kyseisen rakenneteräksen poikkileikkausominaisuudet. Teräsprofiileina voidaan käyttää IPE-, HEA-, HEB- ja HEM-teräsprofiileja.

EN1991-1-1 mukaan valitaan standardi, joka määrittää laskennassa käytettävät teräslajit. Tämän lisäksi valitaan teräksen nimellispaksuus. Näiden valintojen avulla saadaan määritettyä kuumavalssattujen rakenneterästen myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_u arvot (katso taulukko 1). [1.]

Taulukko 1. Teräsprofiilien myötörajojen ja vetomurtolujuuksien arvot [2.].

Standardi ja teräslaji	Nimellispaksuus t [mm]			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	510	335	470
S 450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

Mitoitusohjelmassa valitaan luettelosta standardi, teräksen nimellispaksuus ja teräslaji. Mitoitusohjelma määrittää automaattisesti teräksen lujuudet. Nämä valinnat tehdään jokaiselle rakenneosalle erikseen.

4.1.2 Ruuvit

Kuusioruuvit ilmoitetaan merkinnällä, jossa on kirjain M ja sen perässä luku, joka määrittää ruuvin nimellishalkaisijan millimetreinä. Mitoitusohjelmissa voidaan käyttää seuraavia ruuvikokoja: M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30 ja M36. Ruuvit jaetaan lujuusluokkiin, joissa tunnuksina käytetään: 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 ja 10.9. Jokaisella ruuvin lujuusluokalla on oma vetomurtolujuuden ja myötörajan arvo (katso taulukko 2). [1.]

Taulukko 2. Ruuvien myötörajan f_y ja vetomurtolujuuden f_{ub} arvot lujuusluokittain. [3.]

Ruuvin lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Jokaiselle ruvikoolle on määritetty jännityspinta-ala ja pinta-ala varren kierteettömällä alueella. Laskentaa varten pinta-alaksi valitaan jännityspinta-ala, mikäli kierteen on liitoksessa leikkautuvassa tasossa ja kierteettömän varren pinta-ala, mikäli kierteet eivät ole leikkaustasossa. Ruuvien pinta-alat esitetään taulukossa 3. [1.]

Taulukko 3. Ruuvien jännityspinta-alat ja varren bruttoalat. [4.]

Ruuvi ^{a)}	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	M36
Jännityspinta-ala A_s (mm ²) ^{b)}	84,3	157	245	303	353	459	561	817
Varren bruttopinta-ala A (mm ²)	113	201	314	380	452	573	707	1018

Ruuvien välyksellä tarkoitetaan reiän nimellishalkaisijan ja ruuvin nimellishalkaisijan eroa. Välykset ruuveille annetaan taulukossa 4. [1.]

Taulukko 4. Ruuvien nimellisvälykset. [5.]

Ruuvien tai niveltapin nimellishalkaisija (mm)	12	14	16	18	20	22	24	27 ja yli
Normaalit pyöreät reiät ^a	1 ^{b, c}		2					3
Ylisuuret pyöreät reiät	3		4				6	8
Lyhyet pidennetyt reiät (pituudelle) ^d	4		6				8	10
Pitkät pidennetyt reiät (pituudelle) ^d	1,5 d							

^a Torneille, mastoille ja vastaaville sovellutuksille normaalien pyöreiden reikien nimellisvälystä pienennetään 0,5 mm, ellei erikseen toisin esitetä.

^b Pinnoitetuille kiinnittimille 1 mm:n nimellisvälystä voidaan suurentaa kiinnittimen pinnoitteen paksuuden verran.

^c Ruuveille, joiden nimellishalkaisija on 12 tai 14 mm ja uppokantaruuveille voidaan käyttää myös 2 mm:n välystä standardissa EN 1993-1-8 esitettyjä ehtoja noudattaen.

^d Pidennetyissä rei'issä ruuvien nimellisvälyksen tulee leveyssuunnassa olla sama kuin normaaleilla pyöreillä rei'illä.

Mitoitusohjelma on rakennettu ruuvien osalta siten, että valintaluettelosta määritetään, onko kierteetön osa leikkaustasossa vai ei, jolloin mitoitusohjelma hakee laskennassa käytettävän pinta-alan. Lisäksi valintaluettelosta valitaan ruuvien koko ja lujuusluokka, jonka perusteella mitoitusohjelma hakee automaattisesti ruuvien lujuusominaisuudet ja reiän halkaisijan. Mitoituksessa käytetään oletusta, että reiät ovat normaalikokoisia ja pyöreitä.

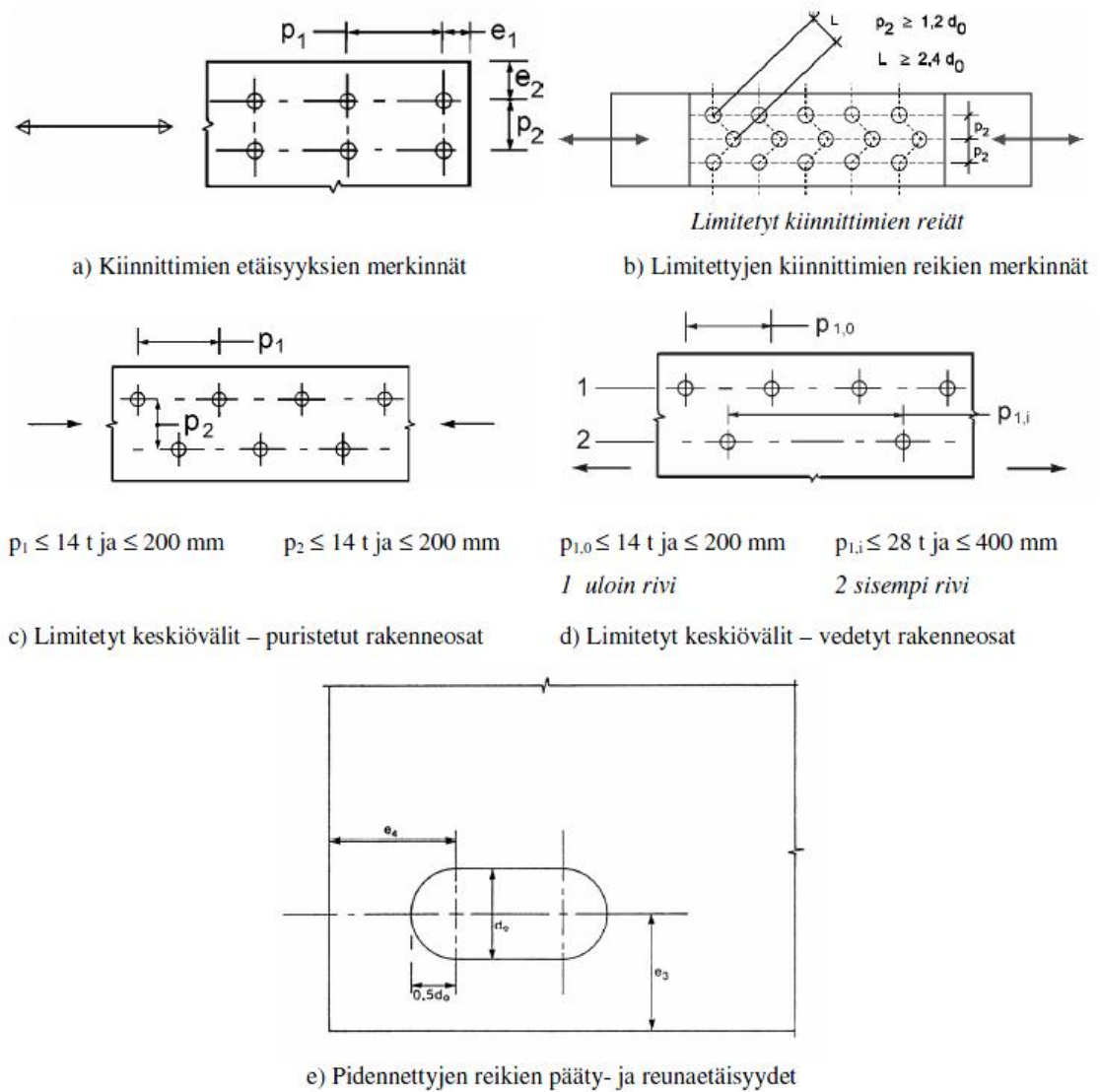
4.1.3 Liitoksen mitat ja etäisyydet

Ruuvien keskiöväliille, pääty- ja reunaetäisyyksille on annettu pienimmät ja suurimmat sallitut arvot standardin EN-1993-1-8 mukaan. Kyseiset arvot esitetään taulukossa 5. [3.]

Taulukko 5. Pienin ja suurin keskiöväli, pääty- ja reunaetäisyys ruuveille. [3.]

Pääty- ja reunaetäisyydet sekä keskiöväli, ks. kuva 3.1	Minimiarvo	Maksimiarvo ^{1) 2) 3)}		
		EN 10025 mukaisista teräksistä (paitsi EN 10025-5:n mukaiset teräkset) tehdyt rakenteet		EN 10025-5 mukaisista teräksistä tehdyt rakenteet
		Säälle tai muille korroosiorasituksille altis rakenne	Rakenne, joka ei ole altis säälle tai muille korroosiorasituksille	Suojaamaton rakenne
Päätyetäisyys e_1	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Suurempi arvoista $8t$ ja 125 mm
Reunaetäisyys e_2	$1,2d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$		Suurempi arvoista $8t$ or 125 mm
Etäisyys e_3 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Etäisyys e_4 Pidennetyissä rei'issä	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Keskiöväli p_1	$2,2d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm
Keskiöväli $p_{1,0}$		Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm		
Keskiöväli $p_{1,1}$		Pienempi arvoista $28t$ ja 400 mm		
Keskiöväli p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t$ ja 200 mm	Pienempi arvoista $14t_{\min}$ ja 175 mm

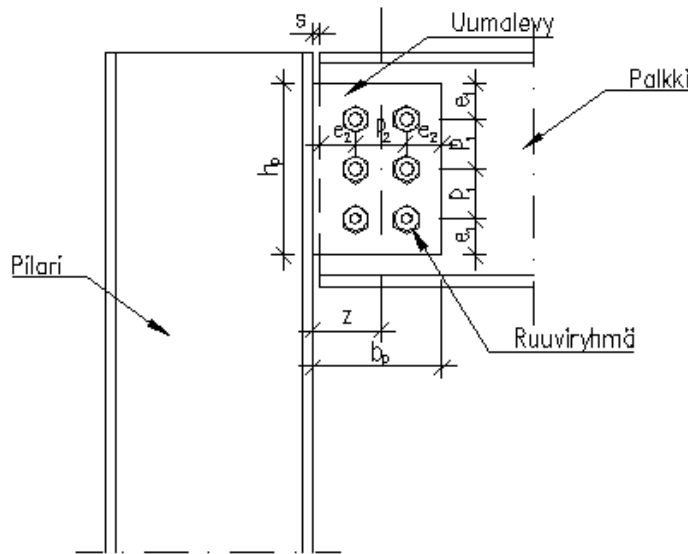
Etäisyys e_1 tarkoittaa etäisyyttä levyn reunasta ruuvin keskiöön voiman suunnassa ja e_2 etäisyyttä voimaa vastaan kohtisuorassa tasossa. Keskiöväliillä p_1 tarkoitetaan ruuvien keskiöiden välistä etäisyyttä voiman suunnassa ja p_2 kohtisuorassa tasossa voimaa vastaan. Keskiövälit $p_{1,0}$ ja $p_{1,1}$ tarkoittavat päällekkäisten ruuvirivien limitettyjen ruuvien keskiövälejä. d_0 tarkoittaa ruuvien reiän halkaisijaa. Etäisyydet esitetään kuvassa 2. [3.]



Kuva 2. Ruuvien keskiö- ja reunaetäisyydet. [3.]

Mitoitusohjelmassa pääty-, reuna- ja keskiöetäisyydet syötetään käsin niille varattuihin kohtiin. Mikäli taulukon 5 vaatimukset eivät täyty, ohjelma pyytää arvojen korjausta oikeaksi. [3.]

4.2 Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos



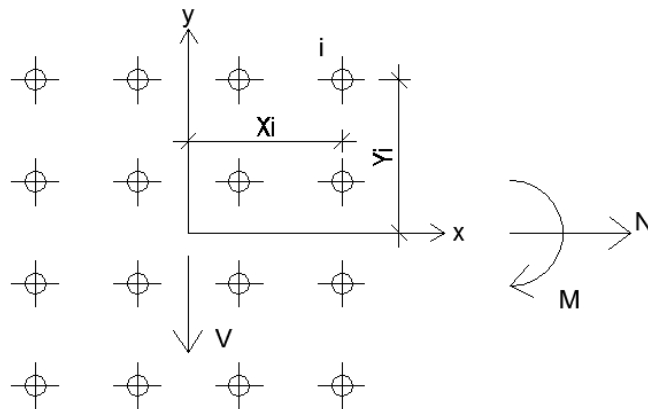
Kuva 3. Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos

Leikkausvoiman rasittamat ruuviliitokset ovat liitoksia, joissa siirrettävät voimat vaikuttavat liitososien kanssa samassa tasossa. Tällöin ruuvit ovat voimaa vastaan koh-tisuorassa tasossa ja voimat siirtyvät ruuvien leikkausjännityksen sekä liitettävien osien ja ruuvien välisen reunapuristuksen välityksellä. Tässä luvussa käsitellään pilarin ja palkin välistä uumalevyliitosta, joka on leikkausvoiman rasittama liitos ja kuuluu kiinnitysluokkaan A (reunapuristustyyppinen kiinnitys). Uumalevyliitos on laskettu olettaen se nivelellisenä liitoksena, joka ei siirrä taivutusmomenteja palkilta pilarille. Tarvittavat lähtötiedot teräsprofiilien lujuusominaisuuksille, pulteille ja reunaetäisyyksille on selvitetty luvussa 4.1 Lähtötiedot.

4.2.1 Voimien jakautuminen ruuviryhmässä

Leikkausvoima aiheuttaa ruuviryhmän ruuveille pystysuuntaisen komponentin. Lisäksi tukireaktio, sekä ruuviryhmän ja tuen välinen epäkeskisyys aiheuttaa ruuviryhmään momentin. Momentti jakautuu ruuviryhmän ruuvien kesken niiden jäykkyyksien ja etäisyyden kiertokeskiöstä suhteessa. Voimien jakaantuminen ruuviryhmässä lasketaan käyttäen kimmoteorian mukaista voimien jakaantumista. Tällöin suurimmat rasitukset tulevat ruuviryhmän äärimmäisille ruuveille. Tätä sääntöä voidaan soveltaa kaikissa

liitostyypeissä. Ruuviryhmän yksittäisille ruuveille tulevat rasitukset lasketaan seuraavista kaavoista.



Kuva 4. Voimien jakautuminen ruuviryhmässä [1.]

$$F_{xi} = \frac{N}{n} + \frac{M \cdot y_i}{\Sigma(x_i^2 + y_i^2)} \quad (1.1)$$

$$F_{yi} = \frac{V}{n} + \frac{M \cdot x_i}{\Sigma(x_i^2 + y_i^2)} \quad (1.2)$$

$$F_i = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \quad (1.3)$$

joissa

n on ruuvien lukumäärä ryhmässä.

F_i on ruuvia rasittava voima, voimasuureiden N , V , M vaikutuksesta (katso kuva 3).

x_i ja y_i ovat ruuvin i etäisyydet ruuviryhmän kiertoakeskiöstä.

F_{xi} ja F_{yi} Voiman F_i komponentit koordinaattiakselien suunnassa.

$\Sigma(x_i^2 + y_i^2)$ Ruuviryhmän polaariset jäyhyysmomentit.

[1.], [3.]

4.2.2 Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo

Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 1.4 mukaan

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} \quad (1.4)$$

jossa

α_v kun ruuvien kierteetön osa leikkaustasossa ja lujuusluokissa 4.6, 5.6 ja 8.8: $\alpha_v = 0,6$. Lujuusluokissa 4.8, 5.8 ja 6.8 ja 10.9: $\alpha_v = 0,5$

f_{ub} Ruuvien vetomurtolujuus

A Ruuvien jännityspinta-ala kun ruuvien kierteet ovat leikkaustasossa, muuten ruuvien varren pinta-ala.

γ_{M2} Osavarmuusluku.

[3.]

4.2.3 Reunapuristuskestävyys

Reunapuristuskestävyys voiman suunnassa lasketaan kaavan 1.5 mukaan.

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (1.5)$$

jossa

k_1 kohtisuorassa voimaa nähden reunarivin ruuveille pienin seuraavista

$$(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$$

muille kuin pään ruuveille pienin seuraavista $(1,4 * \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5)$

α_b pienin arvo seuraavista $(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0)$

α_d levyn pään ruuveille $\alpha_d = \frac{e_1}{3 * d_0}$, muille kuin pään ruuveille $\alpha_d = \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}$

d_0 ruuvien reiän halkaisija

d ruuvien halkaisija

f_{ub} pultin murtolujuus

f_u	perusaineen murtolujuus
t	tarkasteltavan osan paksuus.
γ_{M2}	osavarmuusluku liitoksissa

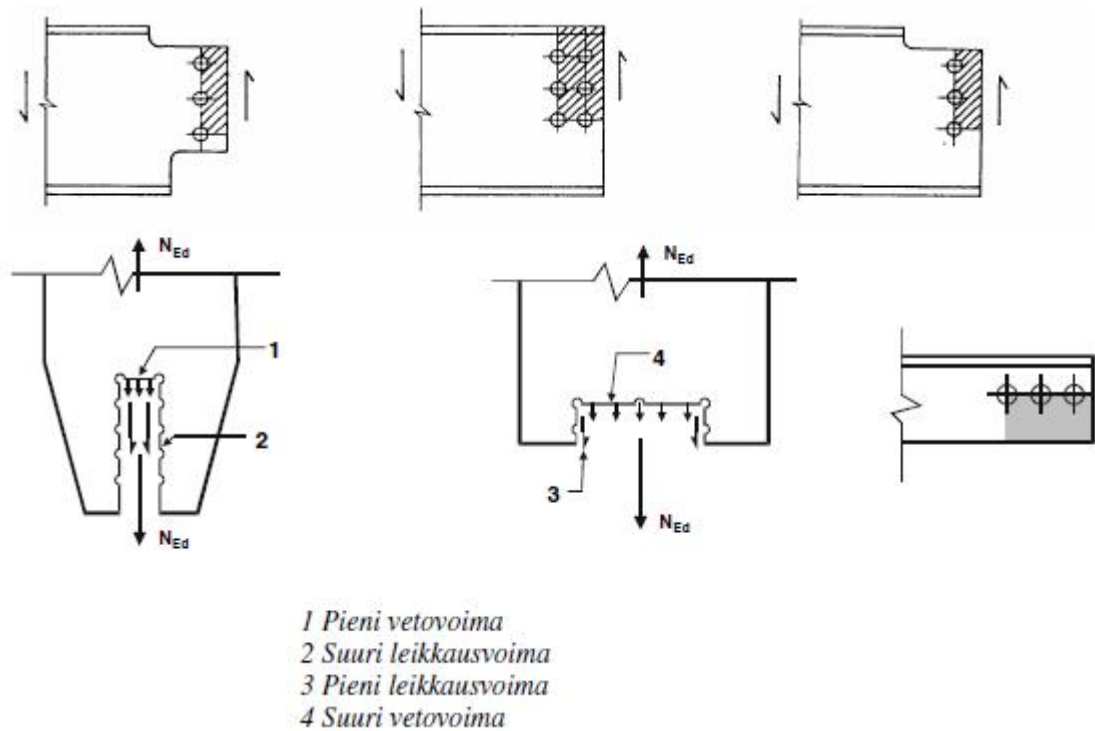
Kun lasketaan yksileikkeisiä päällekkäisliitoksia, joissa on yksi ruuvirivi, reunapuristuskestävyys lasketaan kaavalla 1.6.

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (1.6)$$

[3.]

4.2.4 Palamurtuminen

Kiinnityslevyn ja palkin pään palamurtuminen tulee tarkastaa. Tämä murtumistyyppi tapahtuu perusaineen leikkautumisesta leikkauspinnassa ja vetomurtumisesta vedon rasittamassa pinnassa. Palamurtuminen estetään sopivalla kiinnitysreikien sijoittelulla. Palamurtuminen tapahtuu pitkin ruuvien keskilinjoja. Palamurtumiselle lasketaan materiaalin pinta-alat vetopinnassa ja leikkauspinnassa erikseen. Pinta-alan laskennassa otetaan huomioon reikien halkaisijat. Kuvassa 5 esitetään murtumismuodot palamurtumisessa ja selvitetään pinta-alat, joihin kohdistuu veto- tai leikkausrasitus. [1.], [3.]



Kuva 5. Palamurtuminen perusaineessa. [3.]

Palamurtumiskestävyyden mitoitusarvo $V_{eff,2,Rd}$ lasketaan kaavalla 1.7, kun ruuviryhmään kohdistuu epäkeskeinen kuorma.

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * \frac{f_u * A_{nt}}{\gamma_{M2}} + \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) * \frac{f_y * A_{nv}}{\gamma_{M0}} \quad (1.7)$$

jossa

f_u perusaineen murtolujuus.

f_y perusaineen myötölujuus.

A_{nt} vetovoiman rasittama pinta-ala kiinnitysreiät huomioituna.

A_{nv} leikkausvoiman rasittama pinta-ala kiinnitysreiät huomioituna.

γ_{M2} osavarmuusluku liitoksissa.

γ_{M0} teräksen osavarmuusluku.

[3.]

4.2.5 Kiinnityslevyn pienahitsit yksinkertaistetulla menetelmällä

Yksinkertaistetussa menetelmässä pienahitsin kestävyys todetaan riittäväksi, jos hitsiin kohdistuvien voimien resultantti täyttää kaavan 1.8 ehdon.

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd} \quad (1.8)$$

jossa

$F_{w,Ed}$ on hitsiin vaikuttavan voiman mitoitusarvo pituusyksikköä kohti;

$F_{w,Rd}$ on hitsin kestävyuden mitoitusarvo pituusyksikköä kohti.

$F_{w,Rd}$ lasketaan kaavan 1.9 avulla.

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} * a \quad (1.9)$$

jossa

$f_{vw,d}$ on hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo.

Hitsin leikkauslujuuden mitoitusarvo $f_{vw,d}$ lasketaan kaavan 2.0 avulla.

$$f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad (2.0)$$

jossa

β_w on korrelaatiokerroin, joka valitaan teräslajin mukaan;

f_u on perusaineen murtolujuuden arvo;

γ_{M2} osavarmuusluku liitoksissa.

[3.]

4.2.6 Poikkileikkauksen kestävyys

Kimmenteorian mukaisessa mitoituksessa voidaan käyttää kaavan 2.1 mukaista ehtoa poikkileikkauksen kestävyuden tarkasteluun. Tämä tarkastelu tulee kyseeseen tarkistettaessa kiinnityslevyn kestävyyttä momentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutukselle.

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y/\gamma_{M0}}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y/\gamma_{M0}}}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_{y/\gamma_{M0}}} * \frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{y/\gamma_{M0}}}\right) + 3 * \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_{y/\gamma_{M0}}}\right)^2 \leq 1 \quad (2.1)$$

jossa

$\sigma_{x,Ed}$ on pituussuuntaisen jännityksen mitoitusarvo;

$\sigma_{z,Ed}$ on poikittaisen jännityksen mitoitusarvo;

τ_{Ed} on leikkausjännityksen mitoitusarvo.

[2.]

4.2.7 Kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus.

Taivutusmomentista aiheutuu kiinnityslevyn ylä- ja alareunaan veto- ja puristusjännitykset. Levyn puristetulla puolella voi tapahtua levyn paikallinen lommahtaminen, jossa kiinnityslevy lommahtaa pulttien välisellä alueella, voiman suunnassa. Mikäli keskiövälilin kuorman suunnassa (p_1) ja levyn paksuuden suhde toteuttaa kaavan 2.2 tulee lommahdus tarkistaa tai vaihtoehtoisesti kiinnityslevyn paksuutta on kasvatettava siten, että edellä mainittu ehto toteutuu.

$$\frac{p_1}{t} \geq 9 * \varepsilon \quad (2.2)$$

jossa

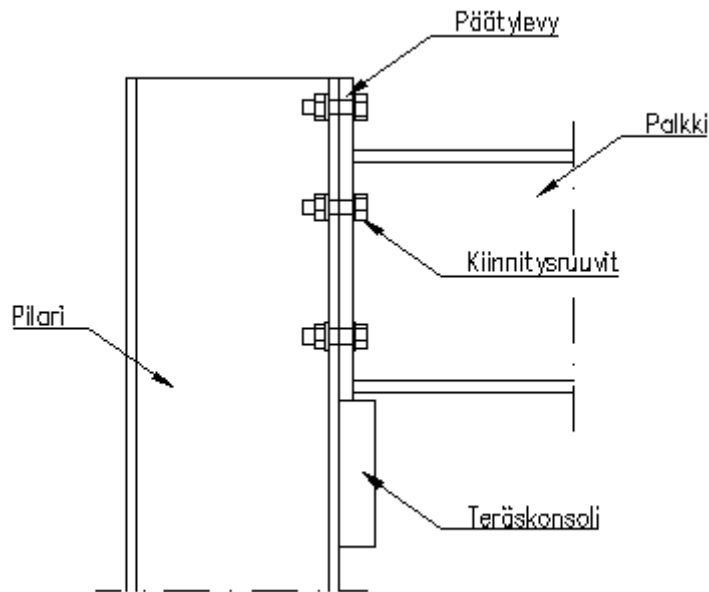
ε f_y :stä riippuva tekijä;

p_1 keskiöetäisyys voiman suunnassa;

t tarkasteltavan osan paksuus.

Kiinnittimien välinen paikallinen lommahdus tarkastetaan EN 1993-1-1 mukaan laske-
malla levyn nurjahdus pilarina, jonka nurjahduspituus on $0,6 * p_1$.

4.3 Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos



Kuva 6. Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos

Pilari-palkkiliitos, jossa palkki kiinnitetään pilarin laippaan ruuvikiinnityksellä, on veto-
rasitettu ruuviliitos. Veto-
rasitetulla ruuviliitoksella tarkoitetaan liitosta, jossa voimat siir-
tyvät palkin ja pilarin välillä ruuvien varren suuntaisten vetovoimien välityksellä. Lasken-
taohjelma on tehty ruuviliitoksesta, joka kuuluu ruuvikiinnitysluokkaan D. Ruuvikiinnitys-
luokkaan D kuuluvassa kiinnityksessä käytetään esijännittämättömiä ruuveja, joiden
lujuusluokat ovat välillä 4.6-10.9. [3.], [4.]

Laskentaohjelman ruuviliitos on tehty oletuksella, että vetopuolella on 4 ruuvia ja puris-
tuspuolella 2 ruuvia. Liitosohjelma on tehty olettaen liitoksen siirtävän taivutusmoment-
teja ruuvien välityksellä ja leikkausvoimia pilarin laippaan hitsatun pilarikonsolin välityk-
sellä. Ruuveille ei siten ole tehty leikkausvoiman ja vetovoiman yhdistettyä tarkastelua.
Liitoksen mitoituksessa oletetaan, ettei liitettävässä palkissa ole aksiaalisia voimia. [3.],
[4.]

4.3.1 Liitosta rasittavat kuormitukset

Liitoksen mitoituksessa oletetaan, että vedetylle alueelle sijoitetaan kaksi ruuvia, joiden
etäisyys liittyvän palkin vedetystä laipasta on sama. Tällöin puristuskeskiö sijaitsee

liittyvän palkin puristetun laipan keskilinjän kohdalla. Tällöin momenttivarren varmalla puolella olevaksi arvoksi voidaan valita puristuskeskiön ja kahden vedetyn ruuvirivin keskilinjän välinen etäisyys. Liitoksen peruskomponenttia rasittavan voiman arvo voidaan laskea kaavan 2.3 mukaan.

$$F_{j,Ed} = M_{j,Ed}/z \quad (2.3)$$

jossa

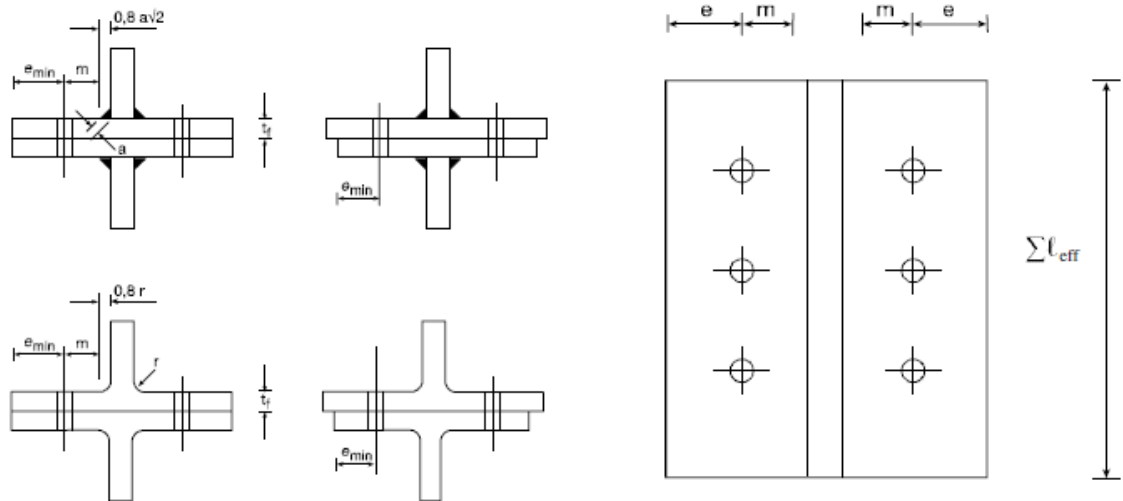
$M_{j,Ed}$ Liitoksessa vaikuttava taivutusmomentti;

z momenttivarsi.

[3.]

4.3.2 Vedetty ekvivalentti T-osa

Vedetty ekvivalentti T-osa on malli, jonka avulla voidaan laskea tiettyjen ruuviliitosten peruskomponenttien kestävyyksien mitoitusarvot. Vedettyä ekvivalenttia T-osaa käytetään laskettaessa pilarin laipan taivutuksen kestävyyttä, päätylevyn taivutuksen kestävyyttä, laipan kulmateräksen taivutuksen kestävyyttä ja pilarin pohjalevyn taivutuksen kestävyyttä kun pohjalevyyn kohdistuu vetävä voima. Ekvivalentissa T-osassa tehollinen kokonaispituus Σl_{eff} valitaan siten, että sen laipan kestävyysden mitoitusarvo vastaa liitoksen peruskomponentin kestävyyttä. Ekvivalentin T-osan pituus ei välttämättä vastaa liitoksen osan fysikaalista pituutta, vaan voi olla käsitteellinen, jotta ekvivalentin T-osan kestävyys saadaan vastaamaan liitoksen komponentin kestävyyttä. Kuvassa 7 esitetään ekvivalentin T-osan laipan mitat. [3.]



Kuva 7. Ekvivalentin T-osan mitat. [3.]

Laskettaessa ekvivalentin T-osan avulla liitoksen komponenttien kestävyysien mitoitussarvoja tarkistetaan kolme erilaista ekvivalentin T-osan murtumismallia. Mitoitukset ottavat huomioon syntyvät vipuvoimat, joten niitä ei tarvitse erikseen laskea, mutta niiden syntyminen on pystyttävä tunnistamaan. Vipuvoimia voi syntyä, jos kaava 2.4 toteutuu.

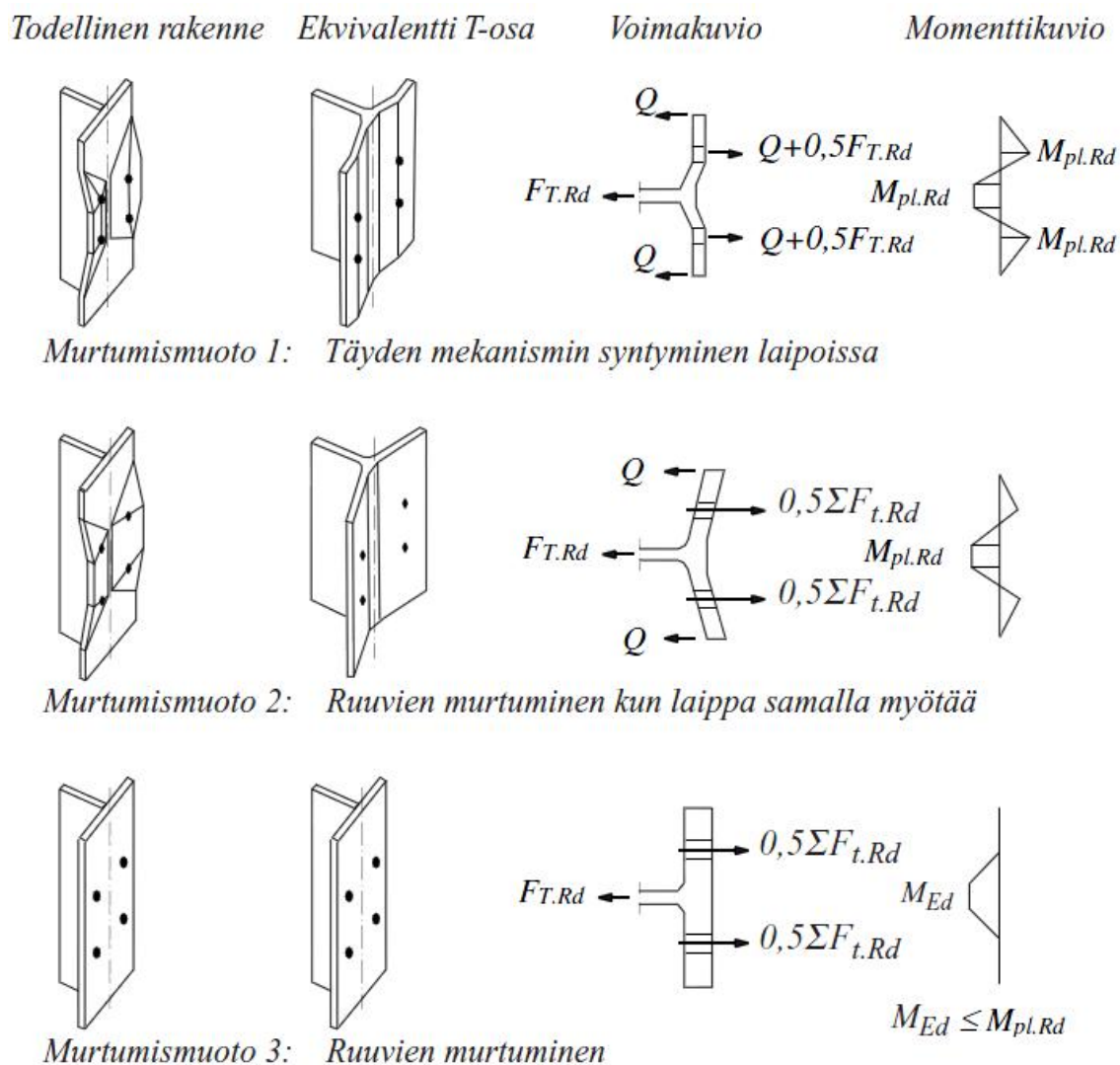
$$L_b \leq L_b^* \quad (2.4)$$

jossa

L_b on ruuvien venymäpituus, jonka arvoksi valitaan liitettävien materiaalien ja aluslaattojen yhteenlaskettu paksuus lisättynä arvolla, joka on puolet ruuvien kannan ja mutterin yhteenlasketusta paksuudesta

$$L_b^* = \frac{8,8m^3 * A_s}{\Sigma l_{ef,1} * t_f^3}$$

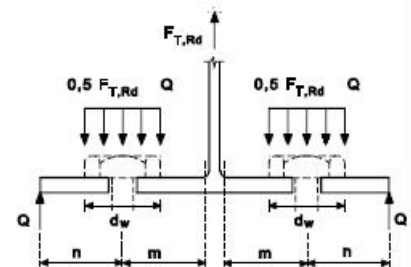
Murtumismallissa 1 laipassa syntyy täysi mekanismi, murtumismallissa 2 ruuvi murtuu kun laippa samalla myötää ja murtumismallissa 3 ruuvi murtuu. Laskentakaavat murtumismalleihin esitetään taulukossa 6. Murtumismallit esitetään kuvassa 8. [3.]



Kuva 8. Kuvat ekvivalentin T-osan murtumismalleista. [4.]

Taulukko 6. Ekvivalentin T-osan murtumismallien laskentakaavat. [3.]

	Vipuvoimia voi syntyä, jos $L_b \leq L_b^*$		Vipuvoimia ei synny
Murtumismalli 1	Menetelmä 1	Menetelmä 2 (vaihtoehtoinen menetelmä)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$
Taustalevyjä ei käytetä	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Käytetään taustalevyjä	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w) M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$	
Murtumismalli 2	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$		
Murtumismalli 3	$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$		
<p>Murtumismalli 1: Täyden mekanismin syntyminen laipassa</p> <p>Murtumismalli 2: Ruuvien murtuminen, kun laippa samalla myötää</p> <p>Murtumismalli 3: Ruuvien murtuminen</p> <p>L_b on - ruuvien venymäpituus, jonka arvoksi valitaan liitospaksuus (liitettävien materiaalien ja aluslaattojen yhteenlaskettu paksuus) lisättynä arvolla, joka on puolet ruuvien kannan ja mutterin yhteenlasketusta paksuudesta tai;</p> <p>- perustusruuvien tapauksessa perustusruuvien venymäpituus, jonka arvoksi valitaan kahdeksan kertaa ruuvien nimellishalkaisija + jälkivalun paksuus + pohjalevyn paksuus + aluslaatan paksuus + puolet mutterin korkeudesta.</p> <p>$L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s}{\sum \ell_{eff,1} t_f^3}$</p> <p>$F_{T,Rd}$ on laipan T-osan vetokestävyyden mitoitusarvo</p> <p>Q on vipuvoima</p> <p>$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$</p> <p>$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$</p> <p>$M_{bp,Rd} = 0,25 \sum \ell_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$</p> <p>$n = e_{min}$ mutta $n \leq 1,25m$</p> <p>$F_{t,Rd}$ on ruuvien vetokestävyyden mitoitusarvo, ks. taulukko 3.4;</p> <p>$\sum F_{t,Rd}$ on T-osan kaikkien ruuvien vetokestävyyksien mitoitusarvojen $F_{t,Rd}$ summa;</p> <p>$\sum \ell_{eff,1}$ on $\sum \ell_{eff}$:n arvo murtumismallissa 1;</p> <p>$\sum \ell_{eff,2}$ on $\sum \ell_{eff}$:n arvo murtumismallissa 2;</p> <p>e_{min}, m ja t_f ovat kuvan 6.2 mukaisia suureita;</p> <p>$f_{y,bp}$ on taustalevyjen myötöraja;</p> <p>t_{bp} on taustalevyjen paksuus;</p> <p>$e_w = d_w / 4$;</p> <p>d_w on aluslaatan halkaisija, tai ruuvien kannan tai mutterin avainväli tarkasteltavasta tapauksesta riippuen.</p>			



4.3.3 Ruuvien vetokestävyys ja lävistymiskestävyys

Ruuvien vetokestävyys lasketaan kaavalla 2.5.

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \quad (2.5)$$

jossa

k_2 0,63 uppokantaisilla ruuveilla ja muissa tapauksissa 0,9;

f_{ub} ruuvien vetomurtolujuus;

A_s ruuvien varren jännityspinta-ala;

γ_{M2} osavarmuusluku.

Ruuvien ja mutterien lävistymiskestävyys lasketaan kaavalla 2.6.

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u}{\gamma_{M2}} \quad (2.6)$$

jossa

d_m lävistymishalkaisija;

t_p liitettävän materiaalin paksuus;

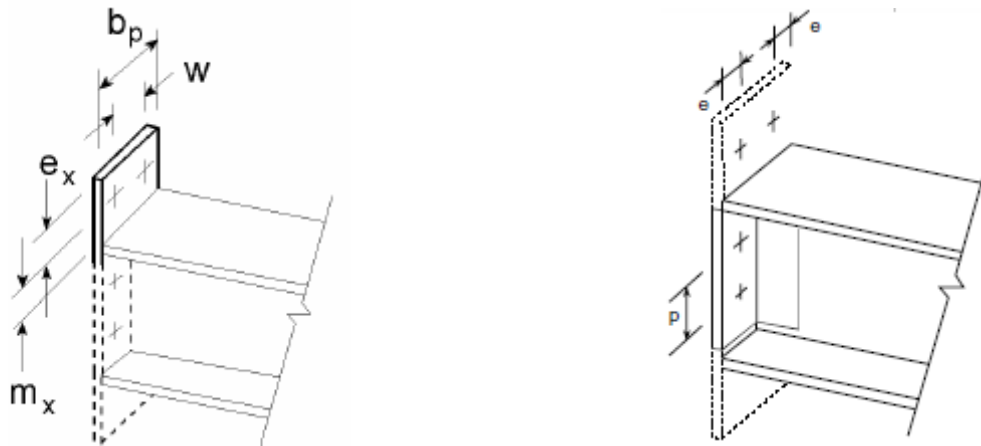
f_u perusmateriaalin murtolujuus;

γ_{M2} osavarmuusluku.

[3.]

4.3.4 Päätylevyn mitoitus

Päätylevyn kestävyysmitoitussarvo valitaan samaksi kuin ekvivalentin T-osan laipan kestävyysmitoitussarvo. Laskennassa tarkastetaan jokaisen yksittäisen ruuvirivin, joka siirtää vetoa ja jokaisen ruuvirivien ryhmän, joka siirtää vetoa, kestävyysmitoitukset. Päätylevyn ulokkeellinen osa ja palkin laippojen välinen osa lasketaan erillisinä ekvivalenttina T-osan laippana. Ekvivalentin T-osan mitat esitetään kuvassa 9. [3.]

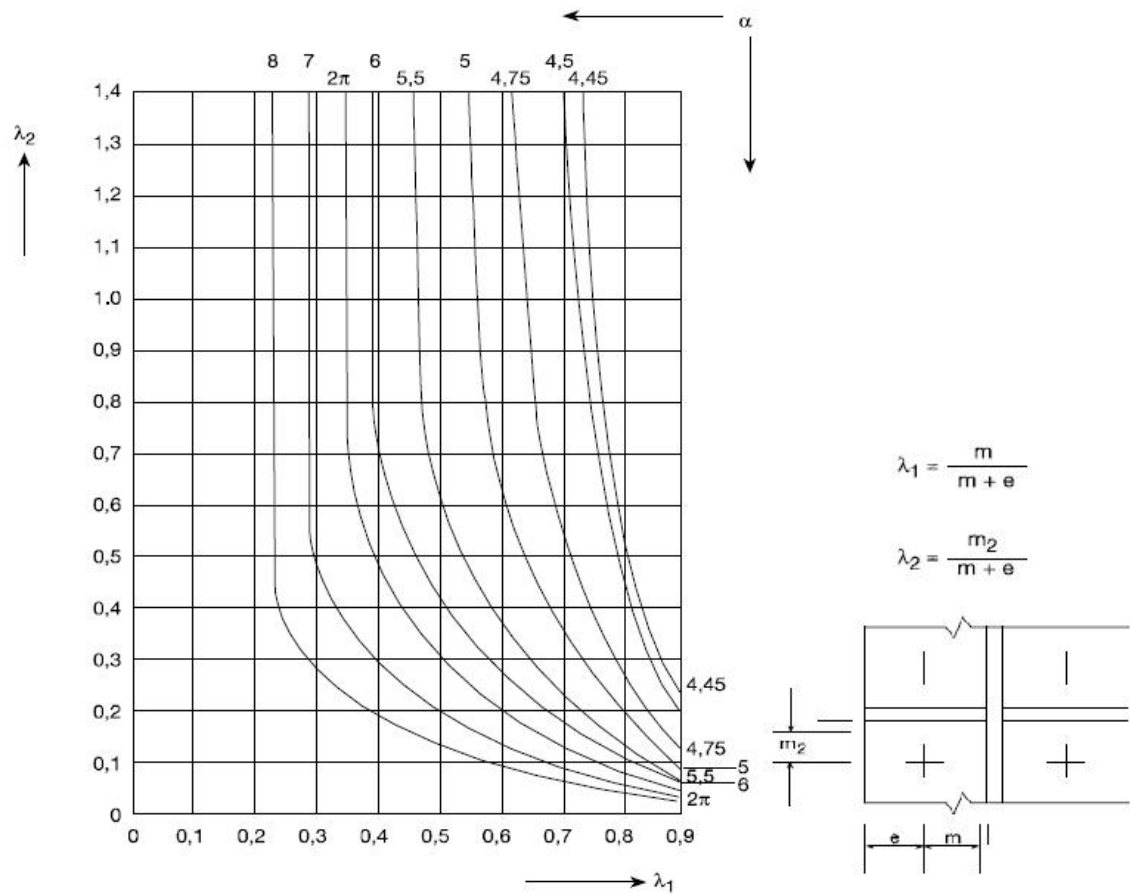


Kuva 9. Kuvassa esitetään ekvivalentin T-osan laippojen mitat. Vasemmanpuoleisessa kuvassa esitetään mitat päätylevyn ulokkeelliselle osalle ja oikeanpuoleisessa kuvassa palkin laippojen väliselle alueelle. [3.]

Ekvivalentista T-osasta lasketaan päätylevyn teholliset leveydet taulukon 7 mukaan ja sen laipan kestävyys lasketaan taulukon 6 mukaan käyttäen laskennassa menetelmää 1, sen yksinkertaisuuden vuoksi. Taulukon 7 α :n arvot saadaan kuvasta 10. [3.]

Taulukko 7. Päätylevyn teholliset leveydet. [3.]

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$
Palkin vedetyn laipan ulkopuolella oleva ruuvirivi	Pienin arvoista: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Pienin arvoista: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Palkin vedetyn laipan alapuolella oleva ensimmäinen ruuvirivi	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Muu sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Muu reunan ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Murtumismalli 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ mutta $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ mutta $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Murtumismalli 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	



Kuva 10. α :n arvot. [3.]

Päätylevyn paksuus valitaan siten, ettei päätylevyn lommahdus tule määrääväksi. Lommahdus ei ole määräävä kun ehto 2.7 toteutuu.

$$\lambda_p \geq \frac{b/t}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} \quad (2.7)$$

jossa

$$\lambda_p = 0,748;$$

b lommahtavan taso-osan leveys;

t levyn paksuus;

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235 \text{ MPa}}{f_y}};$$

$$k_\sigma = 0,43.$$

[7.]

Lommahduksen lisäksi päätylevyn paksuus valitaan siten, ettei päätylevyn ja pilarikonsolin välinen kosketuspaine ylity. Kosketuspaine ei ylity mikäli ehto 2.8 toteutuu.

$$t_p \geq \frac{V_{Ed}}{b_p * f_y / \gamma_{M0}} \quad (2.8)$$

jossa

t_p	on päätylevyn paksuus;
V_{Ed}	leikkausvoiman mitoitusarvo;
b_p	päätylevyn leveys;
f_y	teräksen myötöraja;
γ_{M0}	osavarmuusluku.

[2.]

4.3.5 Pilarikonsolin mitoitus

Pilarikonsolin leveys valitaan samaksi kuin palkin päätylevyn leveys. Paksuudeksi valitaan yleensä 30-50 mm, jotta palkki voidaan kannatella konsolin päälle asennusaikana mittaepätarkkuuksista huolimatta. Pilarikonsolin korkeus valitaan kiinnityshitsien perusteella. Kantaviksi hitseiksi valitaan pystysuuntaiset hitsit. Siitä huolimatta hitsataan myös ylä- ja alapintaa hitsit, jolloin saadaan liitoksen kestävyydelle lisää varmuutta. Hitsien a-mitan oltava vähintään 4 mm. Pilarikonsolin sivuilla käytetään pienahitsiä ja ylä- ja alapinnassa tasapintaista puoli-V-hitsiä, jolloin pilarikonsolin yläpinta jää tasaiseksi. Pilarikonsolin korkeus on oltava vähintään kaavan 2.9 mukainen.

$$h_k \geq \frac{V_{Ed}}{2 * a * f_{vw,d}} = \frac{V_{Ed}}{2 * a} * \frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{3}} \quad (2.9)$$

jossa

h_k	pilarikonsolin korkeus;
V_{Ed}	pilarikonsolissa vaikuttava leikkausvoima;
a	hitsin a-mitta;
β_w	korrelaatiokerroin;
f_u	teräksen murtolujuus;

γ_{M2} osavarmuusluku.

[4.]

4.3.6 Pilarin uuman poikittainen veto

Palkin taivutuksesta kohdistuu pilarin uumaan poikittaista vetoa. Kestävyys poikittaiselle vedolle lasketaan kaavasta 3.0.

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega * b_{eff,t,wc} * t_{wc} * f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (3.0)$$

jossa

ω on pienennystekijä, joka ottaa huomioon leikkausjännitykset pilarin uumassa = $\frac{1}{\sqrt{1+1,3(b_{eff,c,wc} * t_{wc} / A_{vc})^2}}$;

$b_{eff,t,wc}$ pilarin uuman tehollinen leveys, joka valitaan yhtä suureksi kuin pilarin laippaa kuvaavan ekvivalentin T-osan tehollinen leveys taulukosta 8;

t_{wc} pilarin uuman paksuus;

$f_{y,wc}$ pilarin uuman myötöraja;

γ_{M0} osavarmuusluku.

Taulukko 8. Pilarin uuman tehollinen leveys. [3.]

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,cp}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{eff,nc}$
Sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Reunimmainen ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Pienempi arvoista: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Pienempi arvoista: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Pienempi arvoista: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Murtumis-malli 1:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ mutta $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ mutta $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
Murtumis-malli 2:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	

[3.]

Pilarin uuman vetokestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa käyttämällä pilarin uumassa lisälevyjä tai uuman jäykisteitä. Kun käytetään uuman lisälevyä jäykistämät-

tömän pilarin uumassa, vetokestävyyden mitoitusarvo riippuu lisälevyn pituussuuntaisten hitsien paksuudesta. Uuman tehollinen paksuus määritellään seuraavasti:

- Kun hitsin paksuus täyttää ehdon $a \geq t_s$ ja pituussuuntaiset hitsit ovat täysin läpihitsattuja päittäishitsejä:
 - uuman lisälevy toisella puolella: $t_{w,eff} = 1,5 * t_{wc}$ (3.1)
 - lisälevy uuman molemmilla puolilla $t_{w,eff} = 2,0 * t_{wc}$ (3.2)
- kun pituussuuntaiset hitsit ovat pienahitsejä ja niiden a-mitta täyttää ehdon $a \geq t_s/\sqrt{2}$, niin yhdelle tai kahdelle uuman lisälevylle
 - teräslajeilla S 235, S 275 ja S 355 $t_{w,eff} = 1,4 * t_{wc}$ (3.3)
 - teräslajeilla S 420 ja S 460 $t_{w,eff} = 1,3 * t_{wc}$ (3.4)

Pienennystekijää ω laskettaessa pilarin uuman leikkauspinta-alaa voidaan kasvattaa määrällä $b_s * t_{wc}$. Jos käytetään uuman molemmilla puolilla lisälevyjä, leikkauspinta-alan arvoa ei sää tästä koroteta.

[3.]

4.3.7 Pilarin laipan taivutus

Pilarin laipan kestävyys mitoitusarvo ja murtumismuoto poikittaiselle taivutukselle jäykistämättömässä pilarissa valitaan yhtä suureksi kuin ekvivalentin T-osan laipan kestävyys mitoitusarvo ja murtumismuoto. Kestävyys mitoitusarvo lasketaan taulukon 6 mukaan ja tarkistetaan kolme eri murtumismallia. Ekvivalentin T-osan mitat valitaan kuvan 9 mukaan. Ekvivalentin T-osan tehollinen pituus määritetään taulukon 9 mukaisen ruuvirivien arvojen mukaan.

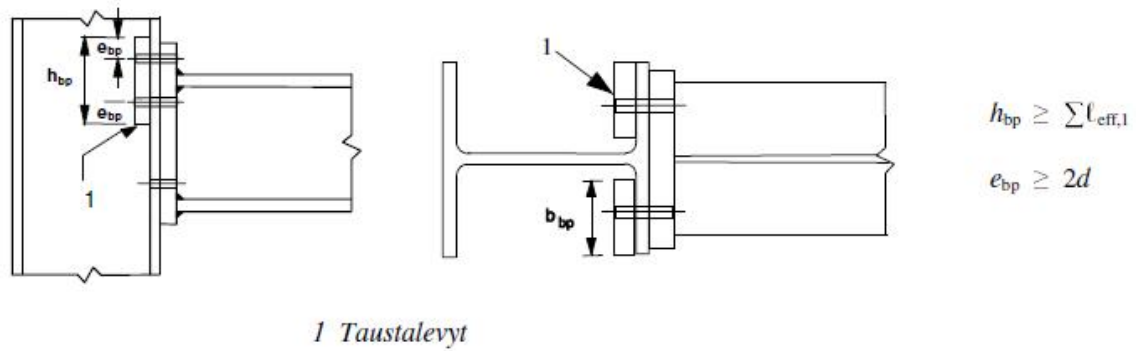


Kuva 11. Ekvivalentin T-osan mitat, kun käsitellään pilarin laipan taivutusta. [3.]

Taulukko 9. Taulukossa esitetään pilarin laipan tehollinen pituus. [3.]

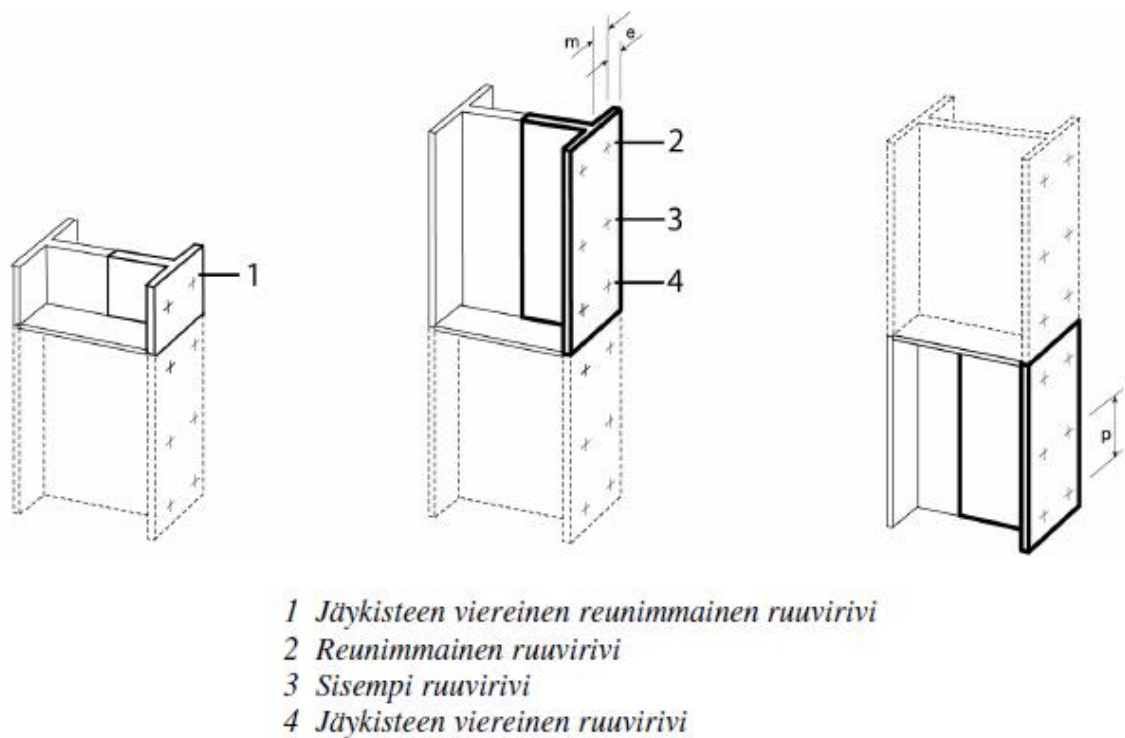
Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$
Sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Reunimmainen ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Pienempi arvoista: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Pienempi arvoista: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Pienempi arvoista: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Murtumis-malli 1:	$\ell_{\text{eff,1}} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\ell_{\text{eff,1}} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff,1}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\sum \ell_{\text{eff,1}} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Murtumis-malli 2:	$\ell_{\text{eff,2}} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff,2}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	

Pilarin laipan taivutuskestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa käyttämällä pilarin vedettyjen ruuvien kohdalla taustalevyjä. Taustalevyt ulotetaan pilarin laipan reunaan ja 3 mm päähän pyöristyssäteestä, sekä korkeussuunnassa ruuvien kaksinkertaisen paksuuden verran ruuvin keskipisteestä ylöspäin. ekvivalentin T-osan vetokestävyyden mitoitusarvo lasketaan taulukon 6 mukaan. Ruuvien etäisyydet taustalevyjä käytettäessä esitetään kuvassa 12. [3.]



Kuva 12. Taustalevyjen sijoitus. [3.]

Käytettäessä poikittaisjäykisteitä voidaan pilarin laipan taivutuskestävyyden mitoitusarvoa kasvattaa. Poikittaiset jäykisteet asetetaan liitoksessa liittyvän palkin laippojen kohdalle. Tällöin jäykisteiden eri puolilla olevat ruuvirivit lasketaan erillisinä ekvivalentteina T-osina ja pilarin laipan taivutuskestävyys määritetään laskemalla erillisten T-osien kestävyyksien mitoitusarvot yhteen. Ekvivalentin T-osan tarvittavat mitat määritetään kuvan 13 perusteella. Ekvivalentin T-osan tehollinen pituus määritetään taulukon 10 perusteella ja termi α kuvasta 10. [3.]



Kuva 13. Poikittaisjäykisteillä jäykistetyin pilarin laipan mitat. [3.]

Taulukko 10. Jäykistetyin pilarin laipan teholliset leveydet. [3.]

Ruuvirivin sijainti	Ruuviriviä tarkastellaan yksittäisenä ruuvirivinä		Ruuviriviä tarkastellaan ruuvirivien ryhmän osana	
	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$	Pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,cp}}$	Ei-pyöreä myötökuvio $\ell_{\text{eff,nc}}$
Jäykisteen viereinen ruuvirivi	$2\pi m$	αm	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Muu sisempi ruuvirivi	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	p
Muu reunan ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Pienempi arvoista: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Pienempi arvoista: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Pienempi arvoista: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Jäykisteen viereinen reunimmainen ruuvirivi	Pienempi arvoista: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	Ei relevantti	Ei relevantti
Murtumismalli 1:	$\ell_{\text{eff,1}} = \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\ell_{\text{eff,1}} \leq \ell_{\text{eff,cp}}$		$\sum \ell_{\text{eff,1}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$ mutta $\sum \ell_{\text{eff,1}} \leq \sum \ell_{\text{eff,cp}}$	
Murtumismalli 2:	$\ell_{\text{eff,2}} = \ell_{\text{eff,nc}}$		$\sum \ell_{\text{eff,2}} = \sum \ell_{\text{eff,nc}}$	

Poikittaisjäykisteen hitsit tehdään täytehitseinä ja käytetään juuripalkkoa siten että hitsin paksuus on vähintään jäykisteen paksuinen. Poikittaisjäykisteen paksuus valitaan siten että puristuspuolella olevan poikittaisjäykisteen lommahdus ei tule määrääväksi. Lommahdus tarkistetaan kuten kohdassa 4.3.2. Lisäksi poikittaisjäykisteen puristuskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 3.5 avulla. [3.], [4.]

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (3.5)$$

jossa

A on puristettujen jäykistelevyjen yhteenlaskettu poikkipinta-ala;

f_y teräksen myötölujuus;

γ_{M0} osavarmuusluku. [2.]

4.3.8 Pilarin uuman poikittainen puristus

Jäykistämättömän pilarin uuman kestävyysmitoitussarvo poikittaiselle puristukselle lasketaan kaavalla 3.6.

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega * k_{wc} * b_{eff,c,wc} * t_{wc} * f_{ymwc}}{\gamma_{M0}}, \text{ mutta}$$

$$F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega * k_{wc} * \rho * b_{eff,c,wc} * t_{wc} * f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} \quad (3.6)$$

jossa

ω	lasketaan kuten kohdassa xx;
k_{wc}	pienennystekijä EN 1993-1-8, kohdan 6.2.6.2(2) mukaan;
$b_{eff,c,wc}$	$= t_{fb} + 2\sqrt{2}a_p + 5(t_{fc} + s) + s_p$;
t_{wc}	Pilarin uuman paksuus;
$f_{y,wc}$	Teräksen myötölujuus;
γ_{M0}	osavarmuusluku;
γ_{M1}	osavarmuusluku.

Jäykistämättömän pilarin uuman sivuttainen nurjahdus estetään rakenteellisesti. Pilarin uuman kestävyysmitoitussarvoa voidaan kasvattaa käyttämällä uuman lisälevyä. Käytettäessä yhtä uuman lisälevyä, valitaan uuman teholliseksi paksuudeksi 1,5-kertainen uuman paksuus. Käytettäessä lisälevyä pilarin uuman molemmilla puolilla valitaan uuman teholliseksi paksuudeksi 2,0-kertainen uuman paksuus. Pienennystekijän ω arvoa voidaan kasvattaa kuten kohdassa 4.3.4. [3.]

4.3.9 Pilarin uuman mitoitus leikkaukselle

Mitoitus leikkauskestävyydelle on voimassa kun pilarin uuman hoikkuus täyttää ehdon $d/t_w \leq 69\epsilon$. Jäykistämättömän pilarin uuman plastisuusteorian mukainen leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 3.7 avulla.

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_{y,wc} * A_{vc}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} \quad (3.7)$$

jossa

A_{vc} on pilarin leikkauspinta-ala;

$f_{y,wc}$ teräksen myötöraja;

γ_{M0} osavarmuusluku. [3.]

Pilarin uuman leikkauskestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa käyttämällä poikittaisjäykisteitä. Poikittaisjäykisteet tulee sijoittaa pilarin uuman vedetylle ja puristetulle alueelle. Tällöin uuman plastisuusteorian mukaista leikkauskestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa kaavan 3.8 mukaisella arvolla.

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}, \text{ mutta } V_{wp,add,Rd} \leq \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s} \quad (3.8)$$

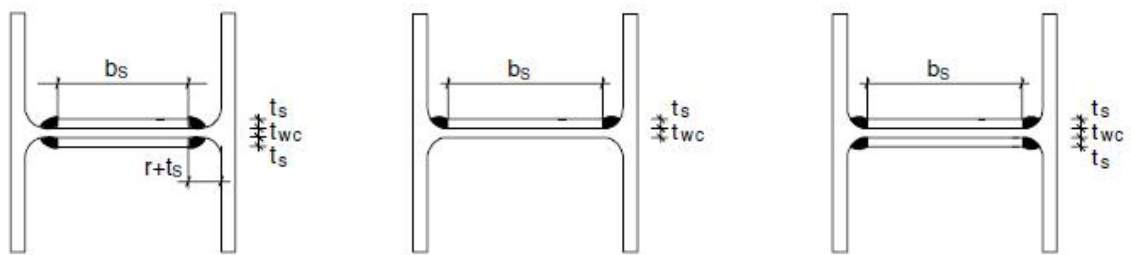
jossa

$M_{pl,fc,Rd}$ on pilarin laipan plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo;

$M_{pl,st,Rd}$ on jäykisteen plastisuusteorian mukainen taivutuskestävyyden mitoitusarvo;

d_s on jäykisteiden välinen etäisyys. [3.]

Pilarin uuman leikkauskestävyyden mitoitusarvoa voidaan kasvattaa myös käyttämällä pilarin uumassa lisälevyä. Tällöin leikkauspinta-alaa voidaan kasvattaa määrän $b_s \cdot t_{wc}$ verran riippumatta, onko lisälevy pilarin uuman toisella vai molemmilla puolilla. Mitat b_s ja t_{wc} esitetään kuvassa 14.



Kuva 14. Pilarin uuman lisälevyn mitat. [3.]

Pilarin uuman lisälevyjä käytettäessä tulee ottaa huomioon lisälevyjen hitsattavuus pilarin uumaan. Uuman lisälevyn oltava vähintään samaa teräslajia kuin pilari. Lisälevyn on ulotuttava pyörityssäteen alkun ja sen paksuuden on oltava vähintään pilarin uuman paksuinen. [3.]

4.3.10 Palkin uuman veto

Liitettävän palkin uuman vetokestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 3.9 avulla.

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} * t_{wb} * \frac{f_{y,wb}}{\gamma_{M0}} \quad (3.9)$$

jossa

$b_{eff,t,wb}$ on palkin vedetyn uuman tehollinen leveys, joka määritetään taulukon 7 perusteella käyttäen yksittäisen ruuvirivin tehollista pituutta;

$f_{y,wb}$ on teräksen myötöraja;

t_{wb} on palkin uuman paksuus;

γ_{M0} on osavarmuusluku. [3.]

4.4 Pilarin liitos perustukseen, puristava kuormitus

4.4.1 Puristettu ekvivalentti T-osa

Puristetun ekvivalentin T-osan avulla voidaan määrittää liitoksen peruskomponenttien yhdistelmien kestävyyksien mitoitusarvoja. Näitä yhdistelmiä ovat teräksisen pohjalevyn taivutus, kun teräslevyn pintaan vaikuttaa perustuksen ja teräslevyn välinen pintapaine tai betoniin ja jälkivaluun kohdistuva pintapaine.

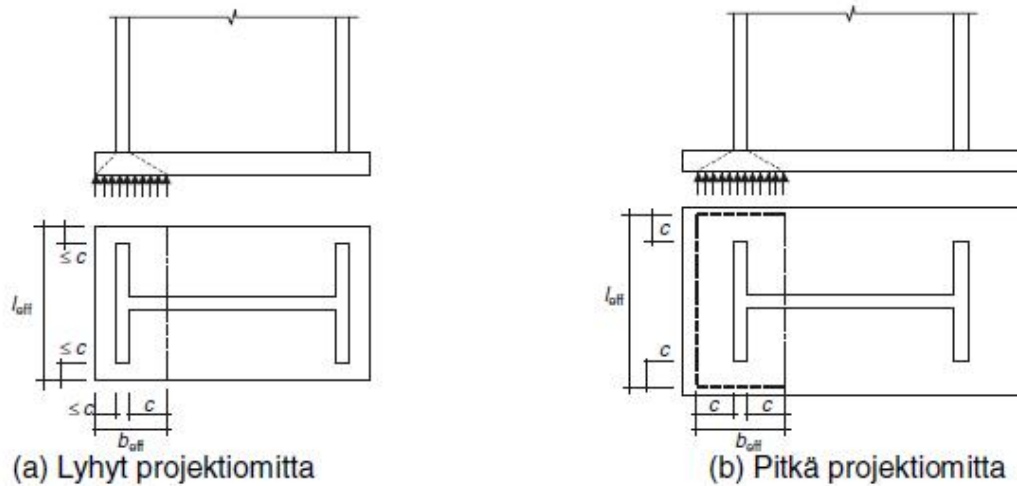
T-osan kautta välittyvien voimien oletetaan jakautuvan tasaisesti T-osan alueelle. Puristetussa pilarissa liitoksen puristuskestävyyden mitoitusarvo on erillisten T-osien kestävyyksien summa. Pinta-ala, johon perustuksen ja teräslevyn välinen pintapaine kohdistuu, määritetään laskemalla T-osan tehollinen pituus ja tehollinen leveys. T-osan mitat esitetään kuvassa 13. Kun mitta c on suurempi kuin T-osan edustaman peruskomponentin pituuden projektiomitta lasketaan tehollinen pinta-ala kuvan 15(a) mukaan, muuten 15(b) mukaan. Mitta c lasketaan kaavasta 4.0.

$$c = t * \sqrt{\frac{f_y}{3 * f_{jd} * \gamma_{M0}}} \quad (4.0)$$

joissa

t on T-osan laipan paksuus;

- f_y on teräksen myötöraja;
 f_{jd} on liitoksen puristuslujuuden mitoitusarvo;
 γ_{M0} on osavarmuusluku.



Kuva 15. Mitta c ja T-osan tehollinen pinta-ala. [3.]

Liitoksen puristuslujuuden mitoitusarvoksi f_{jd} valitaan betoniperustuksen mitoituslujuus kun alusvalun paksuus on yli 50 mm ja sen ominaislujuus on vähintään yhtä suuri kuin betoniperustuksen ominaislujuus. Lisäksi koska f_{jd} :n arvossa ei oteta huomioon kuorman jakautumista betoniperustuksessa suuremmalle alueelle, on oletus varmalla puolella.

[3.], [6.]

T-osan laipan puristuskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavan 4.1 mukaan.

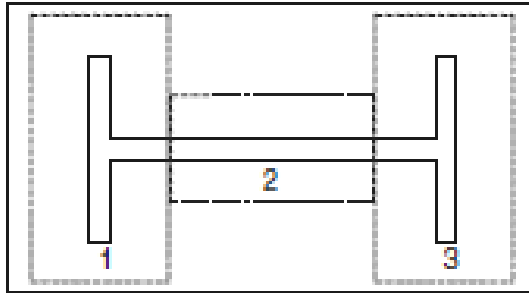
$$F_{C,Rd} = f_{jd} * b_{eff} * l_{eff} \quad (4.1)$$

joissa

- f_{jd} on liitoksen puristuslujuuden mitoitusarvo;
 b_{eff} on T-osan laipan tehollinen leveys kuvan 15 mukaan;
 l_{eff} on T-osan laipan tehollinen pituus kuvan 15 mukaan.

4.4.2 I-muotoisen pilarin pohjalevyn kestävyys puristetulle kuormitukselle

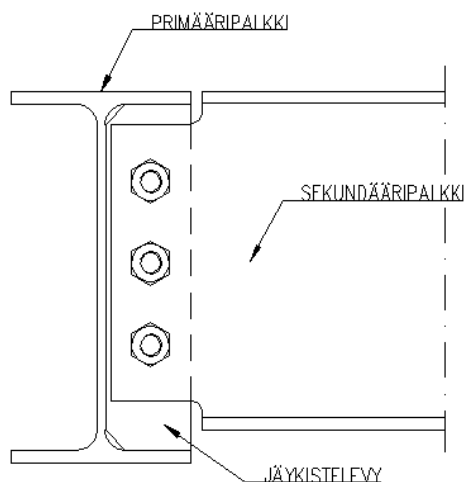
Kun I-muotoiseen pilariin kohdistuu puristavaa voimaa, pohjalevyn kestävyysmitoitustarvo voidaan laskea laskemalla yhteen kolmen erillisen T-osan kestävyysmitoitustarvot. T-osat esitetään kuvassa 16. T-osat sijaitsevat pilarin laippojen alla ja uuman alla. Kolme T-osaa valitaan siten, etteivät ne ole toistensa kanssa päällekkäin. T-osien kestävyysmitoitustarvot lasketaan kohdan 4.4.1 mukaan. [3.]



Kuva 16. Kolme erillistä puristettua T-osaa. [3.]

4.5 Palkki-palkkiliitos, kiinnitys uumaan hitsattuun jäykistelevyyn

Tässä luvussa käsitellään kahden palkin välistä liitosta, joka on leikkausvoiman rasittama liitos ja kuuluu kiinnitysluokkaan A (reunapuristustyyppinen kiinnitys). Primääripalkkiin kiinnitetään jäykistelevy kuvan 17 mukaan. Sekundääripalkki kiinnitetään ruuvi-kiinnityksellä primääripalkkiin kiinnitettyyn jäykistelevyyn. Liitos lasketaan olettaen se nivelellisenä liitoksena, joka ei siirrä taivutusmomenteja. Pulttiryhmälle tulee momenttia tukireaktiosta. Tarvittavat lähtötiedot teräsprofiilien lujuusominaisuuksille, pulteille ja reunaetäisyyksille on selvitetty luvussa 4.1 Lähtötiedot. [4.]



Kuva 17. Sekundääripalkin kiinnitys primääripalkkiin.

4.5.1 Voimien jakautuminen ruuviryhmässä

Sekundääripalkilta tuleva tukireaktio ajatellaan vaikuttavan primääripalkin uuman keskilinjan kohdalla. Sekundääripalkilta tuleva tukireaktio jaetaan tasan kiinnikkeille/ruuveille kohdistuviksi leikkausvoimiksi. Koska voima ei kulje ruuviryhmän kiertokeskiön kautta, aiheutuu ruuviryhmälle tukireaktiosta momentti. Momentista aiheutuvat pysty- ja vaakasuuntaiset voimat jaetaan ruuviryhmän ruuveille suhteessa niiden etäisyyksiin kiertokeskiöstä, sillä ruuvien jäykkyydet ovat samat. Voimat lasketaan kuten kohdassa 4.2.1. [3.], [4.]

4.5.2 Ruuvien leikkaus- ja reunapuristuskestävyyden mitoitusarvo

Palkki-palkkiliitos, jossa sekundääripalkki kiinnitetään ruuveilla primääripalkkiin kiinnitettyyn jäykistelevyyn, on liitos, jossa voimat siirtyvät rakennusosien välillä leikkausvoimien välityksellä. Ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kuten kohdassa 4.2.2. Jäykistelevyn ja sekundääripalkin uuman reunapuristuskestävyydet lasketaan kuten kohdassa 4.2.3. [3.], [4.]

4.5.3 Jäykistelevyn pienahitsit

Jäykistelevy hitsataan kiinni primääripalkin uumaan. Liitettävien materiaalien materiaallivahvuuden tulee olla yli 4 mm. Kiinnityshitsit hitsataan molemmin puolin jäykistelevyä sekä uumaan että ylä- ja alalaippoihin. Kiinnityslevyn hitseistä kantaviksi lasketaan kuitenkin ainoastaan uuman hitsit, joten laippojen hitsit tuovat lisävarmuutta hitsausliitoksen kestävyydelle. Pienahitsin a-mitan on oltava yli 3 mm. Pienahitsin a-mitta lasketaan kuten kohdassa 4.2.5. [3.], [4.]

4.5.4 Kiinnityslevy: Yhdistetty leikkausvoima ja taivutusmomentti

Liitoksen mitoituksessa tulee tarkistaa kiinnityslevyn kestävyys yhdistetylle leikkausvoimalle ja taivutusmomentille. Taivutusmomentti aiheutuu tukireaktion epäkeskisyydestä ruuviryhmän kiertokeskiöön nähden. Yhdistetty tarkastelu tehdään kuten kohdassa 4.2.6. [2.], [3.]

4.5.5 Palamurtuminen

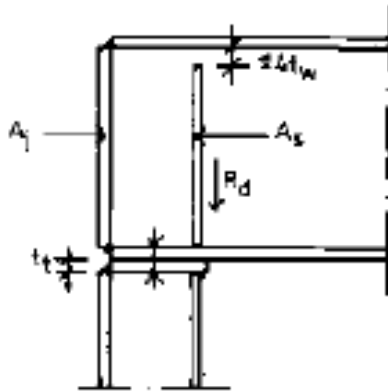
Sekundääripalkin pään palamurtuminen tulee tarkistaa kuten kohdassa 4.2.4. [3.], [4.]

4.5.6 Paikallinen lommahdus

Sekundääripalkin puristetun reunan paikallinen lommahdus tarkistetaan kohdan 4.2.5 mukaan. Nurjahduspituutena käytetään suurempaa seuraavista arvoista: Pultin keskiön etäisyyttä vaakasuunnassa sekundääripalkin ylälaipasta tai pulttien vaakasuuntaista etäisyyttä, mikäli pultteja on useammassa pystyrivissä. [3.], [4.]

4.6 Pilari-palkkiliitos, palkki kannatetaan pilarin päältä

Seuraavassa luvussa käsitellään pilari-palkkiliitosta, jossa palkki on liitetty pilarin päälle hitsattuun päätylevyyn nivelellisesti. Liitoksesta on toteutettu opinnäytetyönä mitoitus-ohjelma, jonka avulla voidaan laskea kannatettavan palkin pistekuormakestävyys, päätylevyn paksuuden raja-arvo, sekä pultin varren halkaisija.



Kuva 18. Kuva liitoksesta, jossa teräspalkki liitetään pilarin päähän hitsattuun päätylevyyn.

Kyseisen liitoksen hyväksikäyttöasteen laskemiseksi tulee selvittää kiinnityspultin varren suuntainen vetorasitus, joka taivuttaa pilarin päätylevyä. Tästä saadaan laskettua päätylevyn mitoittava momentti kaavan 4.2 avulla.

$$m = \frac{F_{Ed}}{8} \quad (4.2)$$

jossa

F_{Ed} on pulteissa vaikuttava kokonaisvetovoima toisella puolella palkin uumaa

Päätylevyn paksuus tulee rajoittaa kaavan 4.3 mukaiseen arvoon, jottei palkin kiertymisestä aiheudu pakkovoimia.

$$t_{vc} \leq 0,36 * d * \sqrt{\frac{f_{ub}}{f_y}} \quad (4.3)$$

jossa

f_{ub} on ruuvien vetomurtolujuus;

f_y on päätylevyn teräksen myötöraja;

d on pultin varren paksuus.

Ruuvien paksuus valitaan kaavan 4.4 avulla siten, että päätylevy myötää ennen kuin pultit pettävät. Näin saadaan liitokselle sitkeyttä.

$$d \leq 2,78 * t * \sqrt{\frac{f_y}{f_{ub}}} \quad (4.4)$$

jossa

d on pultin varren paksuus;

t on pilarin päätylevyn paksuus;

f_{ub} on ruuvien vetomurtolujuus;

f_y on päätylevyn teräksen myötöraja;

[3.]

5 Yleistä mitoitusohjelmasta

Tässä luvussa käydään mitoitusohjelman tekemiseen, ulkoasuun, käyttöön ja siitä saataviin tuloksiin liittyviä asioita.

5.1 Mitoitusohjelma

Mitoitusohjelmia on tehty opinnäytetyössä viisi erilaista, jokaisesta liitoksesta omat. Mitoitusohjelmat on tehty seuraavista liitoksista:

- Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos
- Pilarin liitos perustukseen, puristava kuorma
- Palkki-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, jossa palkki kannatellaan pilarin päältä.

Mitoitusohjelmat on tehty käyttäen Microsoftin Excel-taulukkolaskentaohjelmaa. Mitoitusohjelmien periaatteena ovat että aluksi määritetään liitoksen muodostavat komponentit ja profiilit, niiden vahvuudet ja lujuudet, jonka jälkeen mitoitusohjelma laskee liitoksen kestävyyydet ja esittää hyväksikäyttöasteet. Lopuksi mitoitusohjelma kokoaa laskennan tulokset yhteenvedoksi.

5.2 Mitoitusohjelman ulkoasu ja käyttö

Ulkoasultaan mitoitusohjelma vastaa yrityksen käytössä olleiden laskentaohjelmien ulkoasua. Alussa mitoitusohjelmaan kirjataan suunniteltavan kohteen tiedot, suunnittelijan tiedot. Yrityksen toimipisteen tiedot valitaan vetolaatikosta vastaamaan konttorin yhteystietoja, jossa kyseinen suunnitelma on tehty.

		KOHDDE				
		Osoite				
K.O.SA	KORTTELI	TYÖNRO	TONTTI	RAKENNUSLUPATUNNUS		
1	23456	KOR-1234	7	54-1648-12-A		
SUUNNITTELUJA				ALLEKIRJOITUS		

KOR HKO MANNERHEIMINTIE 105, PL 48, 00231 HKO
puh 010 507 6000 fax 010 507 6100

Kuva 19. Mitoitusohjelman alussa oleva yleistietokenttä, jonka suunnittelija täyttää.

Seuraavaksi mitoitusohjelmassa valitaan alasvetovalikoiden avulla liitoksen mitoitusseen tarvittavat tiedot, joita ovat: teräsprofiilit, teräsprofiilien standardit ja lujuusluokat, ruuvien koot ja niiden lujuusluokat ja standardit, muiden levyjen lujuusluokat ja paksuudet, liitosta rasittavat kuormitukset, etäisyydet ja muut tarvittavat lähtötiedot. Kun esimerkiksi vetolaatikosta valitsee tietyn teräsprofiilin, antaa mitoitusohjelma automaattisesti kyseisen poikkileikkauksen poikkileikkausarvot. Mitoitusohjelma lisäksi opastaa alasvetovalikon käytön teksti-ikkunoilla.

1 Liitoksen lähtötiedot

1.1 Pilari:

HEA 300	Standardi:	EN 10025-2	Teräslaji:	S355
HEA 300	Paksuus	$t \leq 40\text{mm}$		
HEA 320				
HEA 340				
HEA 360				
HEA 400				
HEA 450				
HEA 500				
HEA 550				

Teräksen murtolujuus: $f_u = 510\text{ MPa}$

Pilarin poikkileikkausarvot:

h (mm)	b (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	r (mm)	A (mm ²)	I_y (mm ⁴)	W_{ply} (mm ³)
290,00	300,00	8,50	14,00	27,00	1,13E+04	1,83E+08	1,38E+06

W_{aly} (mm ³)	i_y (mm)	I_z (mm ⁴)	$W_{pl,z}$ (mm ³)	$W_{el,z}$ (mm ³)	i_z (mm)	I_v (mm ⁴)
1,26E+06	127,3979	6,31E+07	6,41E+05	4,21E+05	74,8806	8,78E+05

Kuva 20. Tarvittavat lähtötiedot valitaan ohjelmassa vetolaatikoiden avulla

Mitoitusohjelmassa on kuvien avulla pyritty havainnollistamaan asioita, joiden tietoja kyseisessä ohjelmassa haetaan, kuvien ja erilaisten tekstiselitysten avulla. Lisäksi mitoitusohjelmassa on käyttäjän valittavat tai täydennettävät kohdat väritetty huomiota herättävällä eri värillä, josta tunnistaa, mitkä kohdat mitoitusohjelmassa käyttäjän tulee määritellä.

2.2 Päätylevyn mitoitus

Liitoksen mittoja

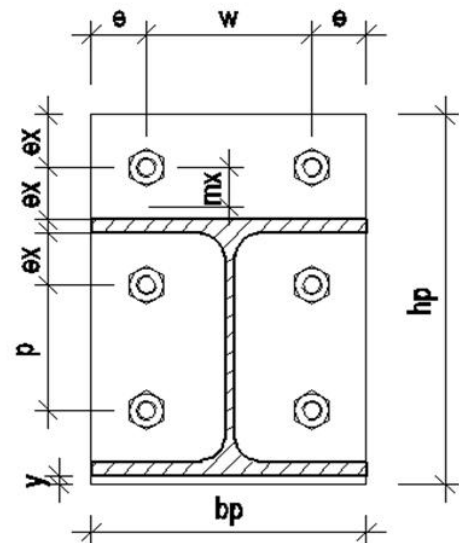
Liitos toteutetaan siten että palkin vedetyllä alueella on pultteja kahdessa rivissä ja puristuspuolella on pultit yhdessä rivissä. Vetopuolen ruuvit on jaettu palkin ylälaipan molemmille puolille. Tässä kohdassa määritetään ruuvien ja päätylevyn etäisyydet ja mitat laskentaa varten. Oletuksena on että päätylevy on palkin levyinen ja kiinnitetty keskeisesti palkkiin ja pilaariin nähden.

Pilarin leveys	$b_c =$	300,00	mm
Pilarin korkeus	$h_c =$	330,00	mm
palkin leveys	$b_p =$	300,00	mm
palkin korkeus	$h_p =$	290,00	mm
päätylevyn leveys	$b_p =$	300,00	mm
päätylevyn paksuus	$t_p =$	20	mm
ruuvien reunaetäisyys päätylevyssä	$e =$	50	mm OK
ruuviväli ruuvirivissä	$w =$	200,00	mm
Päätylevyn ulokkeellisen osan päätyetäisyys	$e_x =$	50	mm

Päätylevyn ulokkeellisen osan päätyetäisyys e_x on pituudeltaan sama kuin etäisyys ylimmän ruuvirivin keskiöstä palkin yläpintaan.

momenttivarsi	$m_x =$	42,080404	mm
	$n = e_{\min} =$	50	mm

laipan hitsi:	$a_f =$	7	mm
uloke palkin alapuolella	$y =$	10	mm
päätylevyn korkeus:	$h_p =$	400	mm



Kuva 21. Mitoitusohjelmassa on kuvien ja tekstilaatikoiden avulla pyritty selvittämään ohjelman käyttöä.

Joissain ohjelmista tulee käyttäjän valita haluamassaan ruuviryhmässä ruuvien paikat. Ohjelma laskee tällöin ruuveihin kohdistuvat voimat automaattisesti suhteessa etäisyyteen kiertoakesiöstä. Ruuviryhmään tulee valita ruuvit vierekkäisiksi ja ruuviryhmän tulee olla symmetrinen, mutta ruuviryhmän sijainnilla ei ole merkitystä kuviossa. Ruuvien paikan vieressä esitetään valitut ruuvivälit vaaka- ja pystysuunnassa. Ruuvien valinta on esitetty kuvassa 22 ja voimien jakaantuminen ruuviryhmässä on esitetty kuvassa 23.

Pulttien paikat pulttirivissä. Pulttirivissä symmetrinen.

Vaakarivi	6	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
Vaakarivi	5	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
Vaakarivi	4	PULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
Vaakarivi	3	PULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
Vaakarivi	2	PULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
Vaakarivi	1	PULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0	EIPULTTIA	0
		Pystyriv		Pystyriv		Pystyriv		Pystyriv		Pystyriv		Pystyriv		Pystyriv	

Kuva 22. Alasvetovalikosta valitaan ruuviryhmässä sijaitsevien ruuvien paikat.

2. Voimien jakautuminen pulttiryhmässä

Liitos niveellinen, jonka leikkausrasitus: $|V_{ed}| = 100$ kN
 Uloinen momentti (uuman osuus): $|M_{w,ed}| = 0$ kNm
 Mitoitusmomentti: $M_{ed} = 4$ kNm
 Polaarinen jäyhyysmomentti pulttiryhmän kiertokeskiön suhteen: $I_p = 18000$ mm²

Voimaresultantti F_{res} (kN)

Vaakarivi	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vaakarivi	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vaakarivi	4	32,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vaakarivi	3	25,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vaakarivi	2	25,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vaakarivi	1	32,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Pystyrv	Pystyrv	Pystyrv	Pystyrv	Pystyrv	Pystyrv

Kuva 23. Voimien jakautuminen ruuviryhmässä.

Lähtötietojen syöttämisen jälkeen ohjelma laskee liitoksen kestävyyydet tietyille liitoksen peruskomponenteille. Laskennassa esitetään laskukaavat ja tulokset kullekin lasketulle arvolle. Lopuksi laskentaohjelma laskee liitoksen peruskomponentin hyväksikäyttöasteen.

3.6 Kiinnityslevyn pienahitsit yksinkertaistetulla menetelmällä

Uumalevy hitsataan kiinni pilarin laippaan. Hitsit molemmilla puolilla.
 Kiinnitettävien materiaalien paksuus oltava yli 4mm.

Liitoksen heikoin teräslaji:

S235

Hitsin a-mitta: $a = 3$ mm
 Hitsin pinta-ala: $A_w = 1440$ mm²
 murtolujuus: $f_u = 510$ MPa
 Korrelaatiokerroin: $\beta_w = 0,8$
 Osavarmuusluku: $\gamma_{M2} = 1,25$

Hitsin mitoitus kimmoteorian mukaan

Hitsin taivutusvastus: $W_w = 57600$ mm⁴
 Mitoitava momentti: $M_{ed} = 4$ kNm
 Mitoitava leikkausvoima: $V_{ed} = 100$ kN
 Pystyhitsissä vaikuttavat jännitykset: $\tau_w = 69,444444$ MPa
 $\sigma_w = 69,444444$ MPa
 Resultoiva jännitys hitsissä: $\sigma_{w,res} = 98,209275$ MPa

$$\sigma_{w,res} \leq f_u / \sqrt{3} * \beta_w * \gamma_{M2}$$

Hyväksikäyttöaste:

0,33

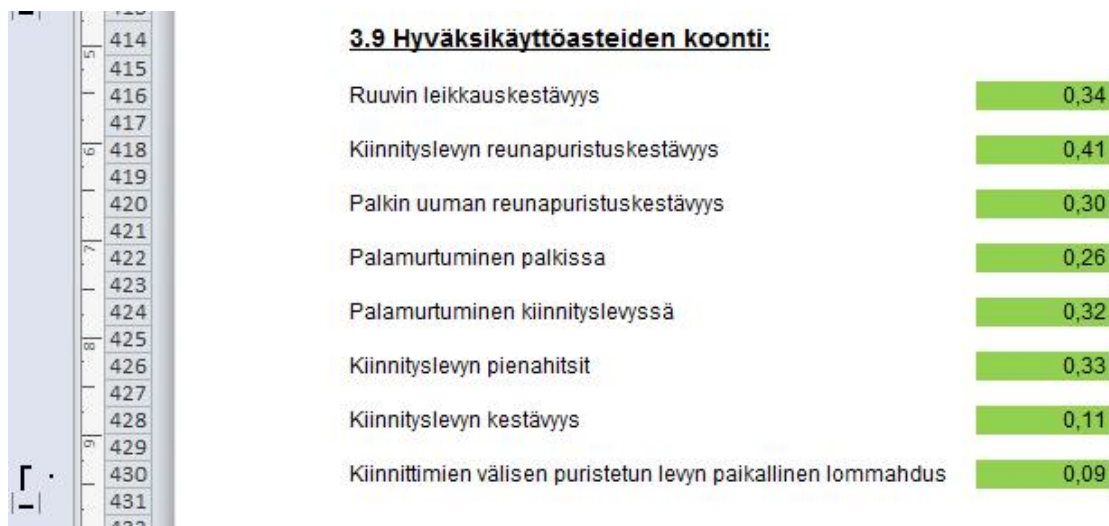
<

1

OK

Kuva 24. Laskentatulosten esitystapa

Kun kaikkien liitoksen peruskomponenttien laskenta on suoritettu, mitoitusohjelma laatii laskennasta kootun yhteenvedon. Yhteenvedossa näkyy kaikkien liitoksen peruskomponenttien hyväksikäyttöasteet. Lisäksi mikäli joitain laskentoja ei ole tarpeellista mitoituksen loppuraportissa näyttää, voi valitut osat laskennasta piilottaa alasvetovalikon avulla, joka näkyy +/- merkinä ohjelman vasemmassa laidassa.



Kuva 25. Lopputulosten koonti.

6 Yhteenveto

Mitoitusohjelmia on olemassa monia erilaisia, mutta monet eivät palvele käyttäjiänsä kunnolla, koska eivät ole ulkoasultaan sellaisia, joita voisi raporteiksi tulostaa esimerkiksi rakennusvalvontaa varten. Monilla mitoitusohjelmilla voidaan mitoittaa rakenteet, mutta raporttia ei voi tulostaa.

Opinnäytetyönä tehtiin viisi erilaista mitoitusohjelmaa, teräsrakenteiden välisistä ruuvi-liitoksista, jotka on mahdollista tulostaa suoraan mitoitusohjelmasta loppuraportiksi. Mitoitusohjelmasta tulostettava raportti on selkeä kokonaisuus, jossa esitetään kuvien ja laskennan avulla liitoksen peruskomponenttien kestävyys ja lopuksi kootaan laskennan tulokset yhteenvetona.

Mitoitusohjelman alussa liitoksen profiileille, ruuveille ja levyille valitaan lujuusluokat, koko ja muut materiaaliarvot. Lisäksi mitoitusohjelmaan syötetään liitosta rasittavat

kuormitukset. Sen jälkeen mitoitusohjelma laskee liitoksen peruskomponenttien kestävydet ja ilmoittaa tulokset hyväksikäyttöasteina.

Liitoksien mitoitusohjelmat on tehty seuraavista ruuviliitoksista:

- Pilari-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, päätylevyliitos
- Pilarin liitos perustukseen, puristava kuorma
- Palkki-palkkiliitos, uumalevyliitos
- Pilari-palkkiliitos, jossa palkki kannatellaan pilarin päältä.

Uumalevyliitoksessa mitoitusohjelman avulla pystytään laskemaan seuraavat laskennat:

- voimien jakautuminen pulttiryhmässä
- ruuvin leikkauskestävyyden mitoitusarvo
- kiinnityslevyn reunapuristuskestävyys
- palkin uuman reunapuristuskestävyys
- palamurtuminen palkissa
- palamurtuminen kiinnityslevyssä
- kiinnityslevyn pienahsit yksinkertaistetulla menetelmällä
- kiinnityslevyn kestävyys momentin ja leikkausvoiman yhteisvaikutukselle
- kiinnittimien välisen puristetun levyn paikallinen lommahdus.

Päätylevyliitoksessa mitoitusohjelman avulla pystytään laskemaan seuraavat laskennat:

- päätylevyn hitsausliitosten hitsien kestävydet
- päätylevyn mitoitus
- pilarikonsolin hitsien kestävydet
- pilarin uuman poikittainen vetokestävyys
- pilarin laipan taivutuskestävyys
- pilarin uuman poikittainen puristuskestävyys

- pilarin uuman leikkauskestävyys
- palkin uuman vetokestävyys
- palkin yhdistetty momentti- ja leikkauskestävyys.

Pilarin perustusliitoksessa mitoitusohjelman avulla pystytään laskemaan ainoastaan puristetun pilarin pohjalevyn kestävyys. Kyseisessä liitoksessa on ajateltu, että pilarissa on ainoastaan puristavaa kuormitusta.

Kahden palkin välisen uumalevyliitoksen avulla pystytään laskemaan seuraavat laskennat:

- Voimien jakautuminen ruuviryhmässä
- ruuvien leikkauskestävyyden mitoitusarvo
- sekundääripalkin uuman reunapuristuskestävyys
- kiinnityslevyn reunapuristuskestävyys
- kiinnityslevyn pienahitsien kestävydet
- kiinnityslevyn kestävyys yhdistetylle leikkaukselle ja taivutukselle
- palamurtumiskestävyys sekundääripalkissa
- sekundääripalkin pään leikkauskestävyys
- puristetun levyn paikallinen lommahduskestävyys.

Liitosohjelmalla, jossa palkki on kannateltu pilariin hitsatun päätylevyn päältä, voidaan laskea seuraavat asiat:

- Palkin pistekuormakestävyys;
- Päätylevyn paksuuden raja-arvo;
- Pultin varren paksuus.

Mitoitusohjelman ulkoasuun on kiinnitetty erityisesti huomiota, jotta laskentaraporin voi tulostaa ja esitellä laskentaraporttina. Mitoitusohjelman alkuun on tehty kenttä, johon kirjataan suunniteltavan kohteen lähtötiedot ja suunnittelijan tiedot. Tämän jälkeen mitoitusohjelmassa valitaan lähtötiedot ja mitat liitoksesta. Mitoitusohjelmassa on esitetty kuvien avulla käyttäjän täydennettävät kohdat. Kohdat, jotka käyttäjä täydentää, on

merkattu mitoitushjelmassa toisella sävyllä ja monessa kohdassa valintaikkunan avulla. Mitoitusohjelman loppuun on tehty hyväksikäyttöasteiden koonti, jossa nähdään liitoksen kestävyys kokonaisuudessaan.

Lähteet

- 1 Kaitila, Kumar ym. 2010. Teräsrakenteiden suunnittelu ja mitoitus, Eurocode 3 – oppikirja. Teräsrakenneyhdistys ry.
- 2 SFS-EN 1993-1-1. Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2005. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 3 SFS-EN 1993-1-8. Teräsrakenteiden suunnittelu. Liitosten mitoitus. 2005. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 4 SFS-EN 1090-2 + A1. Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus, Teräsrakenteita koskevat tekniset vaatimukset. 2011. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 5 SFS-EN 1090-2. Teräsrakenteiden suunnittelu. Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2005. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 6 SFS-EN 1992-1-1+ AC. Betonirakenteiden suunnittelu, yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. 2010. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 7 SFS-EN 1993-1-5. Teräsrakenteiden suunnittelu. Levyrakenteet. 2006. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.